

المحتويات

الوحدة الأولى

التضمين النبضي والرقمي	٢
أنواع الإشارات	٤
مقارنة بين أنظمة الاتصالات الرقمية والتمثيلية	٥
التحويل التماثلي-الرقمي	٥
التضمين النبضي	١١
التضمين النبضي بالرمز	١٣
التضمين النبضي - الرمزي التفاضلي	١٥
تضمين دلتا	١٥
مقارنة بين نظامي ΔM , pcm	١٥
الارسال المتعدد	١٦
ترميز خط النقل	١٧
طرق التضمين الرقمية	٢٠

الوحدة الثانية

الهوائيات وانتشار الموجات	٢٥
الموجات الكهرومغناطيسية	٢٧
طبقات الغلاف الجوي المحيط بالأرض	٣٢
نطاق الترددات الراديوية وخصائصه	٣٧
استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية	٣٩
الهوائيات	٤٠

الوحدة الثالثة

خطوط النقل	٥٤
ثوابت وأساسيات خطوط النقل المعدنية	٥٦
خطوط النقل السلكية الثنائية	٥٨
موائمة الممانعات	٦٠
الموجات المستقرة	٦١
معامل الإرتداد	٦٣
الكوابل المحورية	٦٥
الألياف البصرية	٦٧

الوحدة الرابعة

أنظمة الميكروويف والأقمار الاصطناعية	٧٧
أنظمة الميكروويف	٧٩
نظام اتصالات الميكروويف	٧٩
أنظمة الأقمار الصناعية	٩١

الوحدة الخامسة

الشبكات الهاتفية	١٠٠
الشبكات الهاتفية البدائية	١٠٢
مكونات الشبكة الهاتفية	١٠٤
المقسم الفرعي الداخلي الخاص	١١٧
سيناريو المكالمات الهاتفية	١١٧
تطبيقات خاصة في الشبكة الهاتفية	١٢٣
نموذج النقل اللامتزامن	١٢٩

الوحدة السادسة

الاتصالات اللاسلكية	١٣٣
تاريخ الأنظمة اللاسلكية	١٣٥
الأنظمة اللاسلكية التقليدية	١٣٨
الأنظمة الخليوية	١٣٨
النظام العالمي للاتصالات المتنقلة	١٤١
التقنيات الحديثة في أنظمة الهواتف الخليوية	١٥٨
أنظمة الهواتف اللاسلكية	١٥٩
هواتف الأقمار الاصطناعية	١٦٠
بلوتوث	١٦١
الواي فاي	١٦٣
الدائرة المحلية اللاسلكية	١٦٣
أنظمة الارسال والاستقبال اللاسلكية	١٦٤
الوحدة المتنقلة	١٦٥

التضمين النبضي والرقمي

Pulse And Digital Modulation



التضمين النبضي والرقمي

نظراً للتطور العلمي في مجال تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، شهدت أنظمة الاتصالات انتشاراً واسعاً في مجالات مختلفة، أهمها تطور أجهزة الاتصال الرقمية، وسرعة نقل البيانات والمعلومات عبر شبكات الاتصال المختلفة، وبدأ التحول السريع باستبدال أجهزة الاتصال التماثلية بأجهزة اتصال رقمية.

تبحث هذه الوحدة في إحدى تقنيات الاتصال الحديثة (التضمين النبضي والرقمي) المستخدمة في أنظمة الاتصالات الحديثة لإرسال واستقبال المعلومات. نركز خلال هذه الوحدة على معرفة آلية تحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية، وطرق التضمين النبضية (PAM, PWM, PPM)، وتقنية التضمين النبضي المرمز PCM وتضمين دلتا (ΔM) بالإضافة إلى طرق التضمين الرقمية: (ASK, FSK, PSK, QPSK, GMSK).

أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

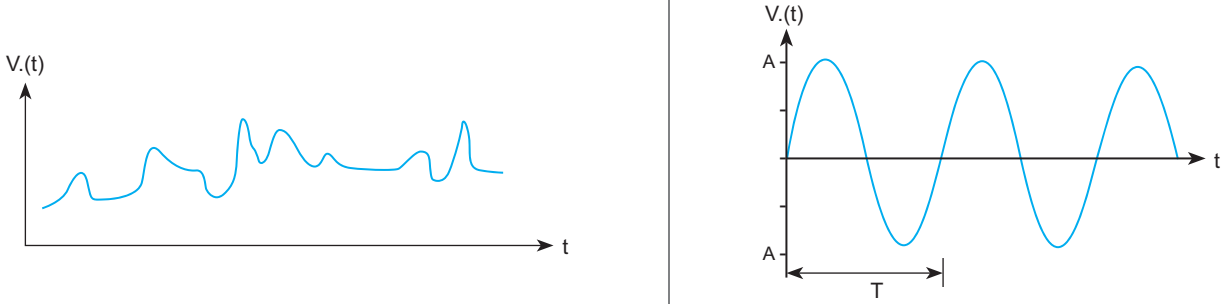
- تعرف آلية تحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية.
- تشرح خطوات عمل محول A/D.
- تعرف أنواع التضمين النبضي.
- تشرح آلية عمل نظام التضمين النبضي المرمز (PCM) ونظام تضمين دلتا (ΔM).
- تميز بين طرق ترميز PCM المختلفة.
- تميز نقاط الاختلاف بين نظامي $M\Delta$ و PCM.
- تعرف طرق التضمين الرقمية.

أنواع الإشارات

تقسم الإشارات بشكل عام إلى :

١. الإشارات التماثلية (Analog Signals)

هي إشارات تأخذ قيماً متغيرة ومتواصلة دون انقطاع خلال فترة زمنية محددة ، مثل الإشارة الكهربائية الجيبية الصادرة عن مصدر كهربائي كما في الشكل (1) ، أو الإشارة الكهربائية الصادرة عن ميكروفون الهاتف كما في شكل (2) .

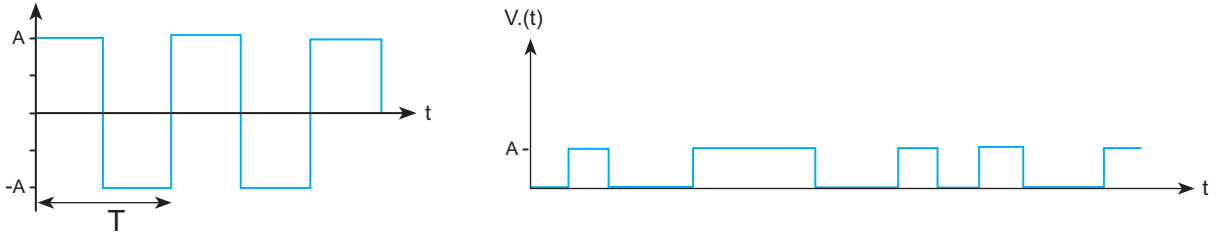


شكل (٢): إشارات ميكروفون

شكل (١): موجة جيبية

٢. الإشارات الرقمية (Digital Signals)

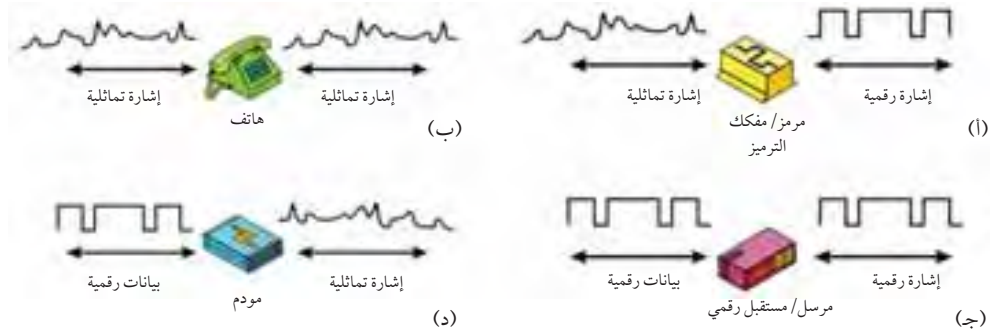
هي تلك الإشارات التي تأخذ قيماً محددة عند تغيرها مع الزمن ، ومثال ذلك الإشارات الصادرة عن الحاسوب والتلغراف . . . لاحظ شكل (3) .



شكل (٣): إشارات رقمية

يبين شكل (٤) بعض التطبيقات العملية على تحويل وتعديل هذه الإشارات :

١. إشارة تماثلية - إشارة رقمية الشكل (٤-أ) .
٢. إشارة تماثلية - إشارة تماثلية الشكل (٤-ب) .
٣. إشارة رقمية - إشارة رقمية الشكل (٤-ج) .
٤. إشارة رقمية - إشارة تماثلية الشكل (٤-د) .



شكل (٤): تطبيقات عملية على تحويل وتعديل الاشارات

مقارنة بين أنظمة الاتصالات الرقمية والتماثلية

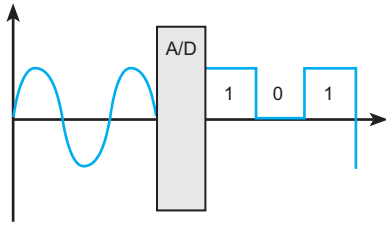
تمتاز أنظمة الاتصال الرقمية عن التماثلية بما يأتي :

- ١ . الجودة والكفاءة لنوعية المعلومات في المستقبل الرقمي .
 - ٢ . تمتاز أجهزة الاتصال الرقمية بفعالية واستقرارية ووثوقية بالعمل أفضل من أجهزة الاتصال التماثلية .
 - ٣ . يكون تأثير التشويش (Noise) على الأنظمة الرقمية أقل منه في الأنظمة التماثلية ؛ لإمكانية تصحيح الأخطاء .
 - ٤ . إمكانية دمج عدد من الإشارات على نفس قناة البث في الأنظمة الرقمية باستخدام تقنيات الإرسال الرقمي المتعدد .
 - ٥ . تعتمد الأنظمة الرقمية على تشفير البيانات ؛ مما يعطيها ميزة عالية بالأمن والحماية .
 - ٦ . تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر اقتصادية من الأنظمة التماثلية .
 - ٧ . تستخدم الأنظمة الرقمية التقنيات المحوسبة في معالجة الإشارات الرقمية (تخزين ، تشفير ، تحكم . . .) .
- ورغم الإيجابيات المتعددة للأنظمة الرقمية إلا أن لها سلبيات منها :
- ١ . تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر تعقيداً من الأنظمة التماثلية .
 - ٢ . حاجتها لعرض نطاق كبير جداً مقارنة مع الأنظمة التماثلية .

التحويل التماثلي-الرقمي (A/D)

A/D Analog to Digital

تعتمد هذه الآلية على تحويل الإشارة التماثلية إلى سلسلة من النبضات وفقاً لتغير إشارة المعلومات ، ويرمز لهذه الآلية ADC أو A/D ، حيث يكفي إرسال عينات بصورة منتظمة في وحدة الزمن عوضاً عن إرسال الإشارة التماثلية . لاحظ الشكل (5) .



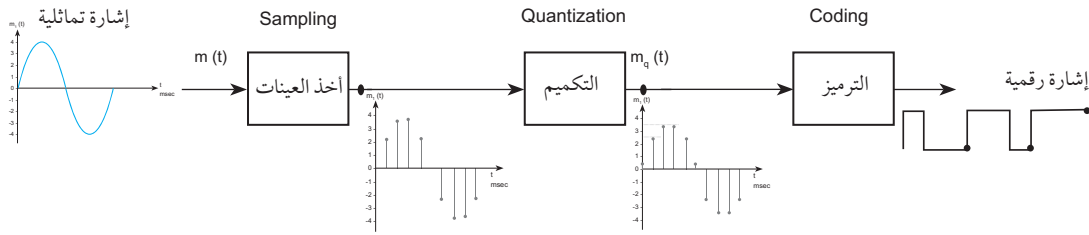
شكل (٥): تحويل تماثلي-رقمي

وتقسم مراحل آلية التحويل التماثلي- الرقمي إلى ثلاث مراحل :

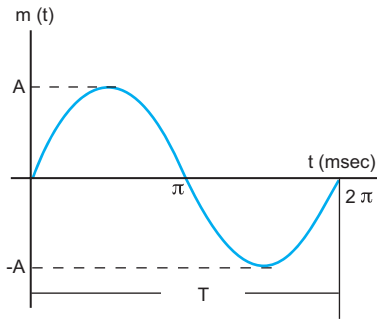
١. أخذ العينات (Sampling): وهي أخذ قيم لحظية لاتساع الإشارة التماثلية المتصلة في فترات محددة، بحيث تصبح الإشارة منفصلة في مجال الزمن.

٢. التكميم (Quantization): هي عملية تقريب القيم اللحظية (Samples) والتي أخذت في مرحلة أخذ العينات إلى مستويات محددة (Levels).

٣. الترميز (Coding): هي عملية إعطاء مستويات التكميم رموزاً رقمية محددة. (رموز النظام الثنائي 0 أو 1)، وبين الشكل (6) المخطط الصندوقي لعملية التحويل التماثلي- الرقمي.



شكل (٦): المخطط الصندوقي للتحويل من تماثلي إلى رقمي



شكل (٧): إشارة جيبية

حيث إن : $m(t)$: إشارة المعلومات التماثلية المراد إرسالها، وللتسهيل سنعدها إشارة جيبية.

$$m(t) = A \sin(2\pi ft)$$

ولكي نفهم ماذا يحدث في عملية التحويل التماثلي- الرقمي لا بد من شرح المراحل الثلاث التي تمر فيها هذه العملية.

مرحلة أخذ العينات (Sampling)

تمثل عملية أخذ العينات عملية تبويب (gating) (فتح الباب لأخذ العينة (sample) ثم غلقه بمجرد القيام بذلك، وتعرف باسم hold، وتكرر العملية بانتظام)؛ أي أخذ قيم منفصلة بشكل منتظم لسعة إشارة تماثلية. وهنا لابد من تعريف نظرية العينات (Sampling Theorem) والتي تنص على أنه يتم أخذ عينات من الإشارة التماثلية ذات التردد الأقصى (f_m) بتردد أخذ العينات (f_s) لا يقل عن $2f_m$ وبصورة منتظمة $f_s \geq 2f_m$ ؛ ذلك حتى يمكن استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها.

يدعى التردد الذي يتساوى فيه التردد f_s مع التردد $2f_m$ بتردد نايكوست، أما إذا قل تردد اخذ العينات f_s عن $2f_m$ يحدث خطأ التداخل (aliasing error) بين مكونات طيف إشارة العينات.

مثال (١): إشارة جيبية ممثلة بالمعادلة الآتية : $m(t) = 8 \sin(2\pi 1000 t)$ أوجد ما يأتي :

الحل:

- اتساع الإشارة A .

$$A = 8$$

- تردد الإشارة f_m

$$f_m = 1000 \text{ Hz}$$

- زمن الدورة T

$$T = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{1000} = 1 \text{ ms}$$

- تردد نايكوست f_s

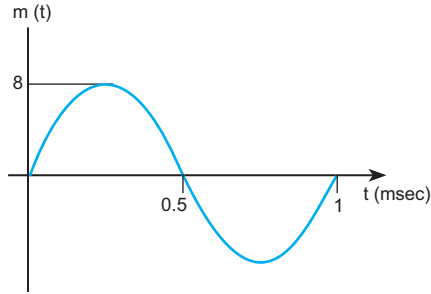
$$f_s = 2f_m = 2(1000) = 2000 \text{ Hz}$$

- زمن اخذ العينات T_s

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{2000} = (0.5)(10)^{-3} = 0.5 \text{ ms}$$

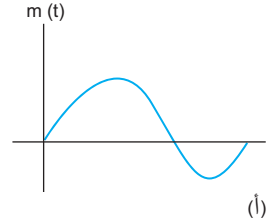
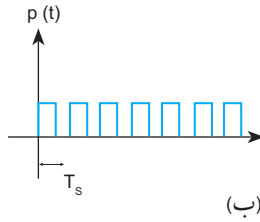
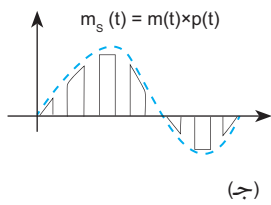
- عدد العينات في كل فترة ns

$$ns = \frac{f_s}{f_m} = \frac{2000}{1000} = 2$$



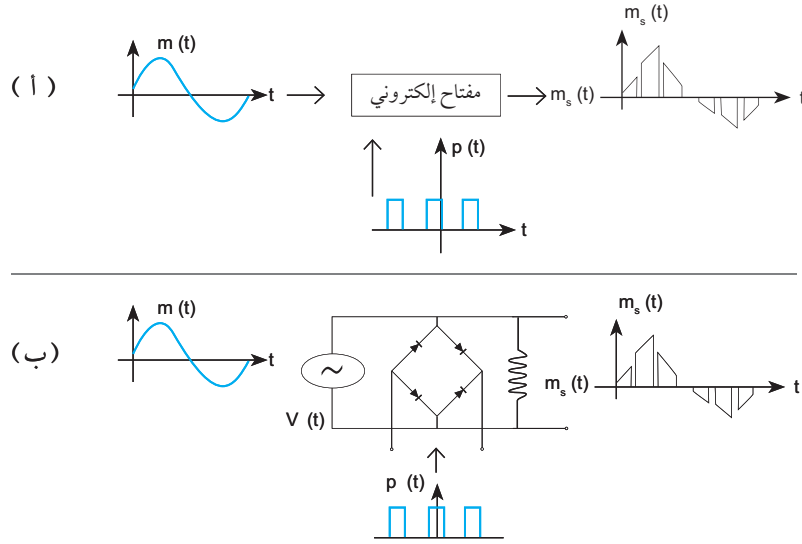
أمثلة على عملية أخذ العينات

يبين شكل (8) مثلاً توضيحياً لعملية اخذ العينات .



شكل (٨) : مثال على أخذ العينات

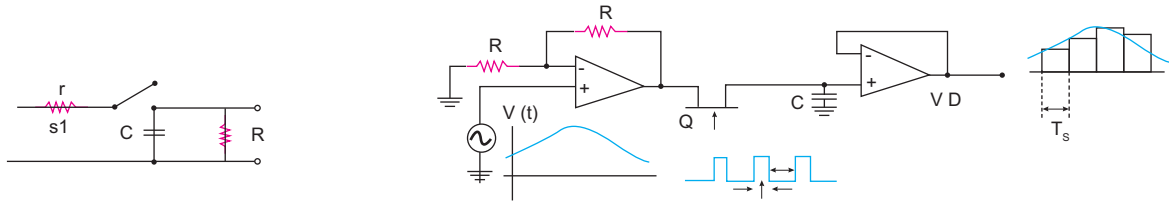
نلاحظ من شكل (8) أن عملية أخذ العينات تعتمد على ضرب إشارة نبضية $p(t)$ (نبضات متماثلة بالشكل ومتساوية بالاتساع والعرض والتباعد) بإشارة المعلومات $m(t)$ ، ومن ثم الحصول على عينات معبرة عن الإشارة الأصلية، ويمكن استخدام العديد من الدارات العملية لأخذ العينات كما هو موضح في الشكل (9).



شكل (٩): مثال لأخذ العينات بطريقة المفتاح الإلكتروني

S/H Sample and Hold

كما ويمكن أخذ العينات باستخدام دائرة الأخذ والحفاظ (S/H) التي تعتمد على مدة إغلاق المفتاح (τ) بحيث تكون كافية لشحن المواسع كما في الشكل (10).



شكل (١٠): مثال لأخذ العينات بطريقة الأخذ والحفاظ (S/H)

مرحلة التكميم Quantization

مرحلة التكميم هي المرحلة الثانية من مراحل تحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية، وتهدف هذه المرحلة إلى تقريب قيمة كل عينة إلى أقرب مستوى من مستويات التكميم؛ مما يسهل عملية ترميزها. لنفرض أن إشارة المعلومات $m(t)$ محدودة الاتساع ضمن الفترة $[-A, A]$ وتقسم هذه الفترة إلى عدد من المستويات أو التدرجات المتساوية Δ كما يأتي:

$$\Delta = \frac{2A}{L} \quad (1)$$

حيث: L : عدد المستويات أو التدرجات، وفي حالتنا هذه استخدمنا.

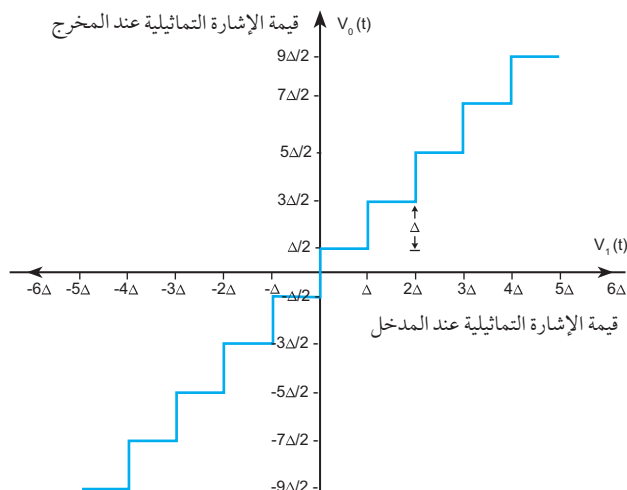
$$L = 2^n = 2^3 = 8$$

n : تمثل عدد الخانات الثنائية اللازمة للمرمز Coder لتمثيل كل عينة.

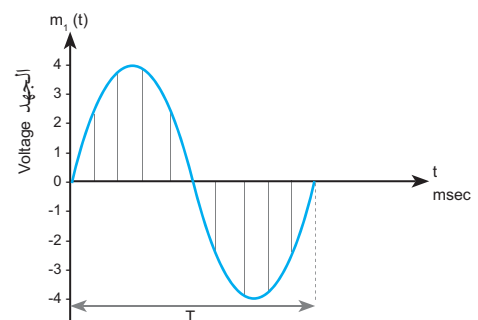
الشكل (11) يبين الإشارة $m_s(t)$ ، وهي عبارة عن خرج دائرة أخذ العينات، وهي تمثل دخل لدارة المكمم. لاحظ أن هذه الإشارة منفصلة في مجال الزمن، وتتكون من 10 عينات في كل فترة (T).

أما في شكل (12)، فقد تم تقسيم المسافة بين أقصى قيمة للإشارة $A = 4$ وأدنى قيمة للإشارة $-A = -4$ إلى 8 مستويات ($L = 8$)، حيث إن المسافة بين كل مستوى والمستوى الذي يليه تحسب من المعادلة (1).

$$\Delta = \frac{2A}{L} = \frac{2 \times 4}{8} = 1$$



شكل (١٢): مخرج دائرة أخذ العينات



شكل (١١): مخرج دائرة أخذ العينات

وقد تم حصر المستويات في الفترة $[-\frac{7\Delta}{2}, \frac{7\Delta}{2}]$ ، أي في الفترة $[-3.5, 3.5]$ وبزيادة $\Delta = 1$ لكل مستوى عن المستوى الذي يسبقه.

الجدول (1) يوضح رقم كل عينة، القيمة الحقيقية للعينة، القيمة التقريبية للعينة، خطأ التكميم (Quantization Error)، المستوى التي قربت إليه العينة، وترميز كل عينة.

خطأ التكميم = (القيمة الحقيقية للعينة) - (القيمة التقريبية للعينة).

ملاحظة

رقم العينة	القيمة الحقيقية للعينة (مدخل المكمم)	القيمة التقريبية للعينة (مخرج المكمم)	خطأ التكميم	المستوى التي قربت إليه العينة	الترميز ($n = 3$)
1	0	0.5	-0.5	5	100
2	2.2	2.5	-0.3	7	110
3	3.8	3.5	0.3	8	111
4	3.8	3.5	0.3	8	111
5	2.2	2.5	-0.3	7	110
6	0	0.5	-0.5	5	100

001	2	0.3	-2.5	-2.2	7
000	1	-0.3	-3.5	-3.8	8
000	1	-0.3	-3.5	-3.8	9
001	2	0.3	-2.5	-2.2	10

جدول (١):

تشويش التكميم Quantization Noise:

نلاحظ من جدول (1) أن هناك فرقاً بين القيمة الحقيقية للعينة (عند مدخل المكمم) والقيمة التقريبية للعينة (عند مخرج المكمم)، ويدعى هذا الفرق تشويش التكميم ويكون هذا التشويش محدوداً بالفترة $[-\frac{\Delta}{2}, \frac{\Delta}{2}]$ أي $[0.5, -0.5]$ ، ويعبر رياضياً عن تشويش التكميم من خلال المعادلات الآتية:

معدل الطاقة في الإشارة الجيبية:

$$S = \frac{A^2}{2} \quad (2) \dots\dots\dots$$

حيث: A تمثل اتساع الإشارة الجيبية.

معدل الطاقة في تشويش التكميم:

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{A^2}{3L^2} \quad (3) \dots\dots\dots$$

حيث: L عدد المستويات المستخدمة في دائرة المكمم.

وبقسمة المعادلة (2) على المعادلة (3) نحصل على نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة إشارة التشويش (SNR) بالمعادلة الآتية:

$$SNR = \left\{ \frac{S}{N_q} \right\} = \frac{3}{2} L^2 \quad (4) \dots\dots\dots$$

من المعادلة (4)، لاحظ أن SNR تتناسب تناسباً طردياً مع مربع عدد المستويات L^2 ؛ أي كلما زاد عدد المستويات المستخدمة في دائرة المكمم، كانت SNR أعلى؛ الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض تأثير التشويش.

مثال (٢): إذا علمت أن الإشارة الجيبية $m(t) = 4 \sin(2\pi 100 t)$ ، أرسلت بواسطة نظام تضمين نبضي مرمز PCM، والذي يستخدم عدد المستويات $L = 8$ ، $\Delta = 1 \text{ Volt}$. أوجد ما يأتي:

الحل: = معدل الطاقة S من المعادلة (2)

$$S = \frac{A^2}{2} = \frac{4^2}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ Watt}$$

= معدل طاقة تشويش التكميم N_q من المعادلة (3)

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{A^2}{3L^2} = 0.083 \text{ Watt}$$

= مقدار SNR من المعادلة (4):

$$\text{SNR} = \left\{ \frac{S}{N_q} \right\} = \frac{8}{0.083} = 96.4$$

ونستطيع أيضاً أن نحسبها بطريقة أخرى:

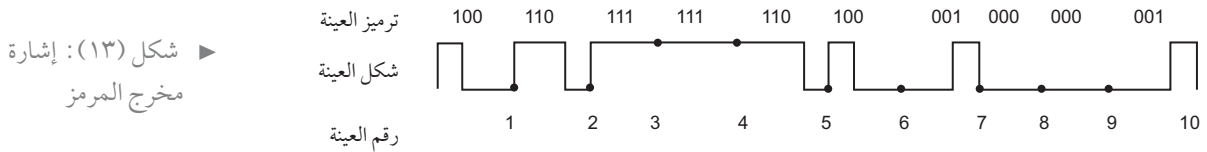
$$\text{SNR} = \frac{3}{2} L^2 = \frac{3}{2} 8^2 = 96$$

مرحلة الترميز Coding

مرحلة الترميز هي المرحلة الثالثة والأخيرة من مراحل التحويل التماثلي - الرقمي ، وفيها يتم إعطاء كل عينة عند مخرج المكمم ترميزاً ثنائياً (Binary Coding). وفي مثالنا السابق مثلنا كل عينة بثلاث خانات ثنائية ؛ ذلك لأن المكمم له 8 مستويات ، وهناك علاقة بين عدد المستويات L وعدد الخانات الثنائية n ، وهي :

$$L = 2^n \dots\dots\dots (5)$$

أما شكل الإشارة الخارجة من المرمز بالاعتماد على المثال السابق والبيانات في جدول (1) لعشر عينات يكون على الشكل التالي ، شكل (13).



التضمين النبضي (Pulse Modulation)

تعتمد هذه الطرق على استخدام سلسلة نبضات منتظمة كموجة حاملة ، ويتم تغيير خصائص النبضات من حيث :
 الاتساع ، العرض (التردد) ، والمكان ، حسب قيمة العينات .
 لذلك تم تصنيف هذه الطرق إلى ثلاث ، هي :

١. تضمين اتساع النبضة PAM

PAM Pulse Amplitude Modulation

PWM Pulse Width Modulation

PPM Pulse Position Modulation

يتناسب اتساع النبضة (الموجة الحاملة) في النقطة الزمنية المحددة تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية .

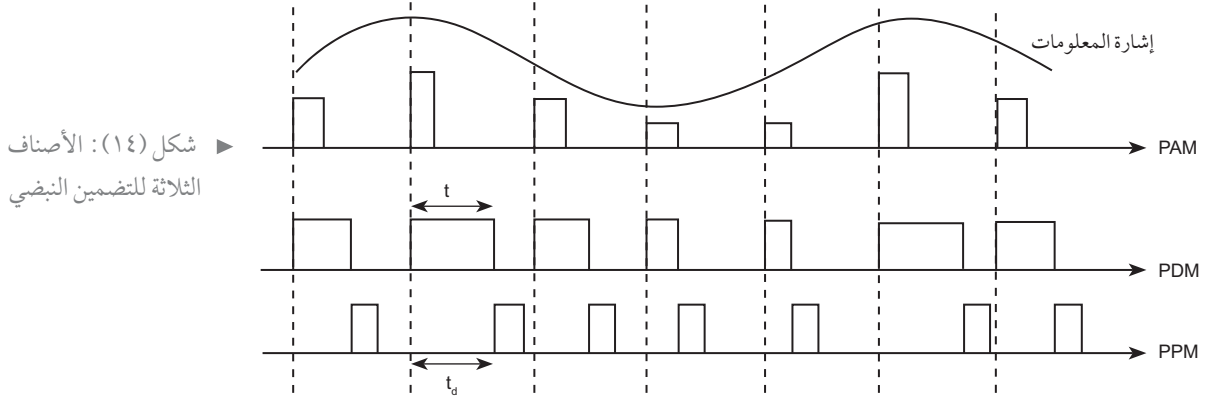
٢. تضمين عرض النبضة PWM

يتناسب عرض النبضة (فترة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية مع بقاء اتساع النبضة ثابتاً، حيث يزداد عرض النبضة بازدياد ارتفاع العينة، ويعدّ هذا التضمين أقل تأثراً بالتشويش مقارنة مع تضمين سعة النبضة.

٣. تضمين مكان النبضة PPM

يتناسب موقع النبضة (بداية نبضة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية، مع بقاء اتساع وعرض النبضة ثابتين، حيث يزداد تأخير موقع النبضة بازدياد اتساع العينة، ويعدّ الأقل تأثراً بالتشويش.

يوضح شكل (14) الأنصاف الثلاثة لتضمين النبضات التماثلي.



تستخدم هذه الأنظمة في معدات الميكروويف والليزر وأنظمة الاتصالات قصيرة المدى، ومن سيئاتها أنها تحتاج إلى عرض نطاق ترددي كبير، يمكن استخدامه في إرسال مزيد من الإشارات.

كشف إشارات التضمين النبضي

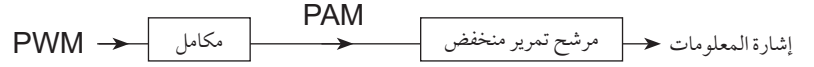


الشكل (١٥): كشف إشارة PAM

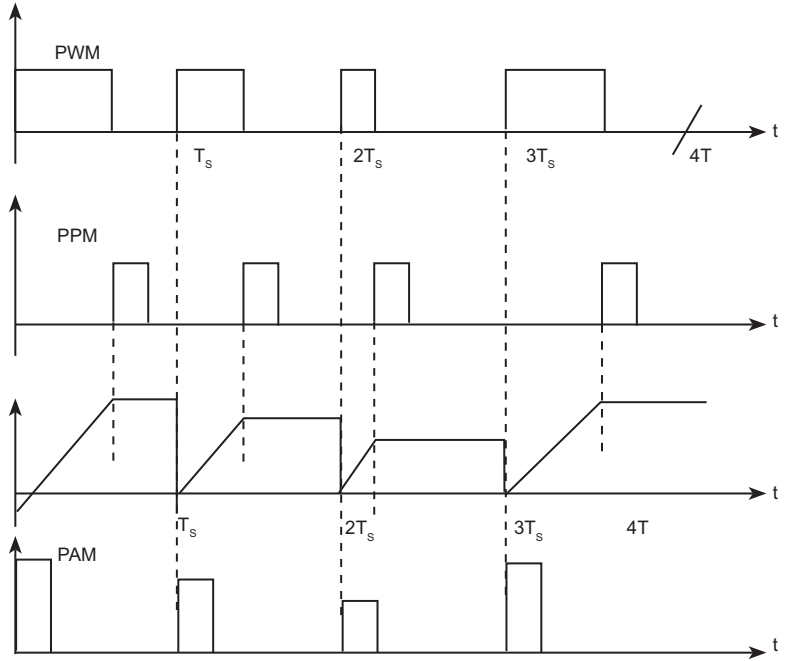
يتم كشف إشارة تضمين اتساع النبضة PAM بواسطة مرشح تمرير

منخفض (LPF). لاحظ شكل (15).

ويتم كشف إشارة تضمين عرض النبضة (PWM) وإشارة تضمين موقع النبضة (PPM) باستخدام دائرة التكامل لتحويلها إلى إشارة تضمين سعة النبضة PAM، ومن ثم كشفها باستخدام مرشح تمرير منخفض. لاحظ شكل (16).



► شكل (١٦): التحويل من إشارة PPM، PWM إلى إشارة PAM



التضمين النبضي المرمز PCM

يعدّ هذا التضمين من أكثر الأنظمة شيوعاً واستخداماً في أنظمة الاتصال الهاتفية لما يتميز به من :

١ . فعالية عالية ضد التشويش .

٢ . استخدامه في التجميع الرقمي TDM .

ومن عيوبه :

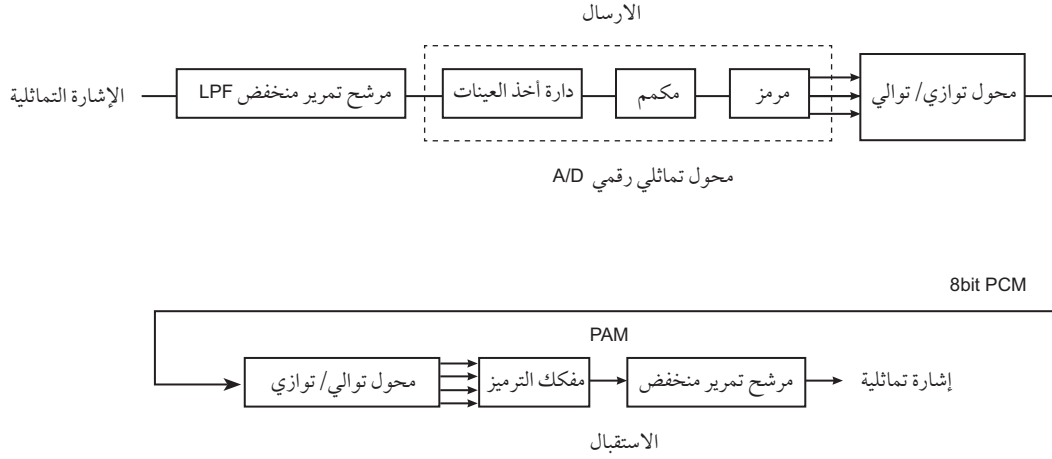
١ . حاجته إلى عرض نطاق ترددي كبير .

٢ . تعقيد أجهزة الإرسال والاستقبال الخاصة به .

يتم تقليل عرض النطاق الترددي اللازم لعملية الإرسال في الاتصالات الهاتفية باستخدام النطاق الترددي (0.4kHz 3.4kHz) من ترددات صوت الإنسان كنطاق للقناة الهاتفية ، حيث تتركز معظم الطاقة الصوتية ضمن هذا النطاق من الترددات .

توليد وكشف إشارة PCM

يبين شكل (17) المخطط الصندوقي للمكونات الرئيسة لعملية توليد إشارة PCM أو آلية كشف هذه الإشارة ، والتي تعتمد على تحويل الإشارة التماثلية (الصوتية) إلى إشارة رقمية .



شكل (١٧) : إرسال واستقبال إشارة PCM

يمكن تلخيص آلية توليد إشارة PCM على النحو الآتي :

- ١ . يتم إدخال الإشارة التماثلية إلى مرشح تمرير منخفض (LPF) ؛ وذلك لتمرير الترددات الصوتية ضمن المجال الترددي (0.4kHz 3.4kHz) .
- ٢ . تؤخذ العينات بواسطة دائرة أخذ العينات بتردد $f_s \geq 2f_m$ (f_m تردد إشارة القناة الهاتفية) ، و بمعدل يساوي 8000 عينة/ ثانية ؛ أي إن $f_s = 8\text{kHz}$ ، (وهذا أكبر من 6.8KHz) ، لماذا؟
- ٣ . يتم تكميم العينات بواسطة دائرة التكميم ، حيث يقوم المكتم بتقريب العينة إلى أقرب مستوى ، ويستخدم 256 مستوى في حالة اعتماد 8bit لكل عينة في مرحلة الترميز ($2^8 = 256$) .
- ٤ . يتم ترميز العينات بواسطة دائرة الترميز ، وذلك بتمثيل كل مستوى بعدد ثنائي مكون من 8bit ، وتخرج هذه الإشارات بشكل متواز .
- ٥ . يستخدم محول توازي/توالي لتحويل الاشارات المتوازية إلى اشارات متوالية .
- ٦ . تسمى الإشارة الخارجة من محول توازي/توالي إشارة PCM بسرعة تساوي $64000 = 8000 \times 8$ 64kbit/sec .

أما كشف إشارة PCM فيتم على النحو الآتي :

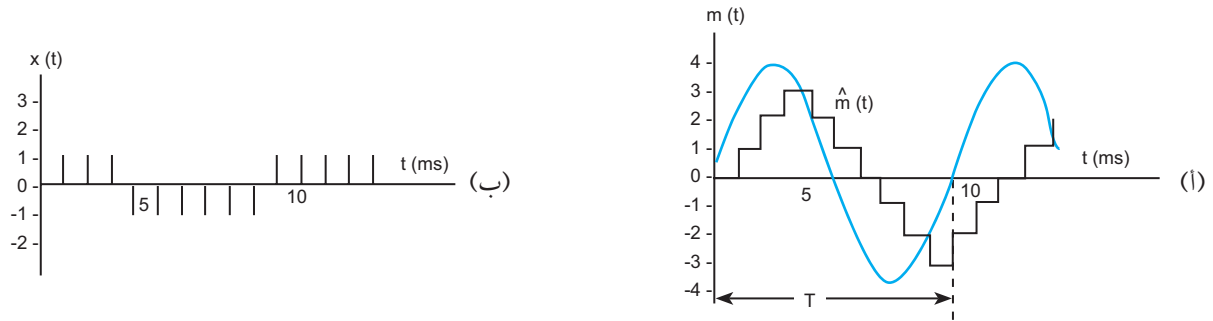
- ١ . تدخل إشارة PCM المستقبل إلى محول توازي/توازي لتحويل إشارة PCM المتوالية إلى اشارات متوازية .
- ٢ . يقوم مفك الترميز بتحويل الإشارات المتوازية إلى نبضات تضمين الاتساع PAM .
- ٣ . يستخدم مرشح تمرير منخفض LPF للحصول على الإشارة الصوتية المرسل .

التضمين النبضي-الرمزي التفاضلي

في هذا التضمين يتم إرسال كل عينة على شكل قيمة تفاضلية نسبة إلى العينة السابقة ، بدلاً من إرسالها كقيمة مطلقة ، لذلك يعمل هذا التضمين على تقليل عرض النطاق الترددي المطلوب ، وتقليل عدد البتات الممثلة للعينة ، ولا يفضل استخدام هذا التضمين في حالة كان الفرق بين العينة الحالية والعينة السابقة كبيراً .

تضمين دلتا (Delta Modulation ΔM)

في هذا التضمين يتم إرسال نبضة موجبة في حال كان الفرق بين العينة الحالية والعينة السابقة موجباً ، ونبضة سالبة في حال كان الفرق سالباً ، وتمثل النبضة بقيمة صغيرة ثابتة تسمى Δ ، وبهذا نلاحظ أنه تم تقليل النطاق الترددي مقارنة بـ PCM . لاحظ الشكل (18-أ / 18-ب) .
وتتميز الدارات الإلكترونية المستخدمة في توليد إشارة تضمين Δ بسهولة تركيبها وبساطتها .



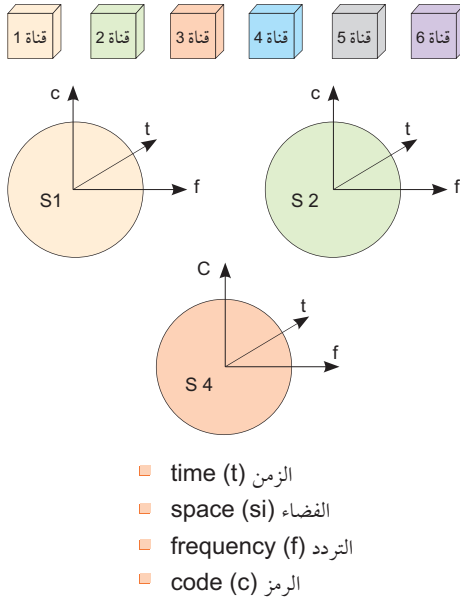
شكل (١٨) : (أ) إشارة المعلومات والتقريب الدرجي منها/ (ب) إشارة تضمين دلتا

مقارنة بين نظامي ΔM , PCM

يبين الجدول الآتي مقارنة بين ΔM ، PCM

الرقم	الخاصية	نظام PCM	نظام ΔM
1	نظام الإرسال	معقد	بسيط
2	التكلفة	عالية	متوسطة
3	عدد البتات للعينة	تمثل العينة بأكثر من بت	تمثل العينة ببت واحد
4	عرض النطاق الترددي	كبير	صغير
5	محولات A/D ، D/A	يحتاج إلى وجود محولات	لا يحتاج

عملياً يعدّ نظام PCM أكثر شيوعاً واستخداماً ؛ لاعتماد هذا النظام عالمياً في الإرسال الهاتفي .



شكل (١٩): SDM

تستخدم تقنيات التجميع لإرسال إشارات متعددة على نفس القناة، ذلك للاستغلال الكامل لعرض النطاق الترددي لقناة الاتصال، فمثلاً في الاتصالات الهاتفية تستخدم عمليات الإرسال المتعدد لإرسال عدد كبير من المكالمات الهاتفية بين المقاسم على نفس قناة الاتصال، وفي الاتصالات اللاسلكية فإن الفضاء يشكل نفس قناة الاتصال، عندها لا بد من استخدام الإرسال المتعدد لكي يمكن نقل أكثر من إشارة في الوقت نفسه، شكل (19).

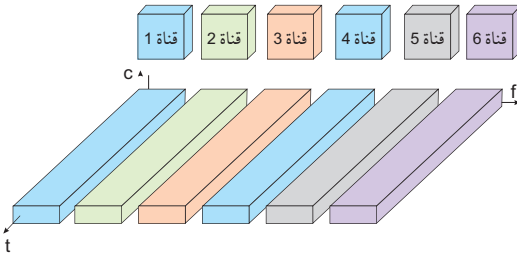
وهناك خمسة أنواع من الإرسال المتعدد:

١. الإرسال المتعدد بالتقسيم المكاني SDM

تقسم الترددات والقنوات المتاحة على المناطق الجغرافية في الاتصالات اللاسلكية، حيث تعطى كل منطقة نطاقاً من الترددات يختلف عن المنطقة المجاورة لها لمنع حدوث التداخل، ويعاد تكرار الترددات في مناطق أبعد، ويمكن استخدام الأنواع الأخرى من الإرسال المتعدد في كل منطقة.

٢. الإرسال المتعدد بالتقسيم الترددي FDM

يعتمد عمل هذا النوع على فصل ترددات الإشارات المرسلّة وذلك بتخصيص نطاق ترددي معين لكل جهاز إرسال، ويتم ذلك بتعديل ترددات إشارة المعلومات بإشارات حاملة للحصول على نطاقات ترددية منفصلة، وإرسالها معاً في نفس الوقت على نفس قناة الاتصال. لاحظ شكل (20).



شكل (٢٠): FDM

SDM Space Division Multiplexing
FDM Frequency Division Multiplexing
TDM Time Division Multiplexing
CDM Code Division Multiplexing

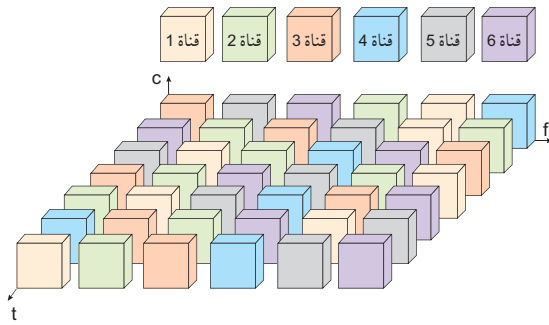
ويقوم جهاز الاستقبال بفصل هذه الإشارات باستخدام مرشحات تمرير النطاق.

الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني TDM

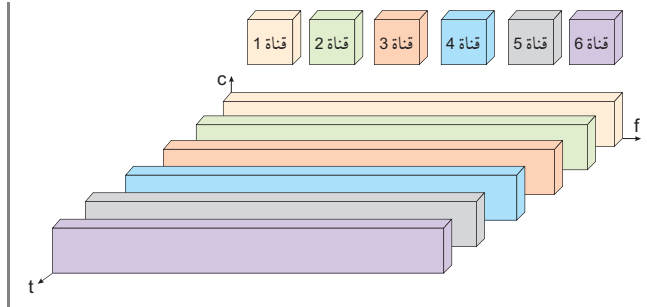
يعتمد مبدأ عمل هذا النوع على تقسيم الزمن بين أجهزة الإرسال في خط اتصال واحد، وذلك بالاستفادة من الفترات الزمنية الخالية، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة أنظمة الاتصالات، ويتطلب هذا التقسيم التزامنة بين أجهزة الإرسال والاستقبال. لاحظ شكل (21).

الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني و الترددي FDM, TDM

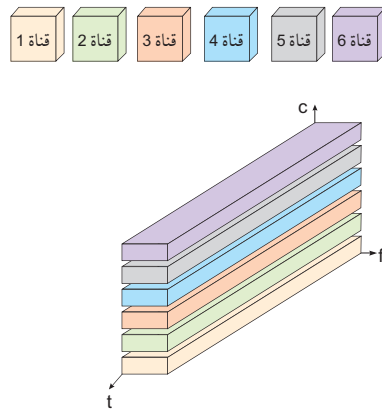
في هذا النوع يتم الاستفادة من ميزات التقسيم الزمني والترددي، وذلك بتخصيص أكثر من نطاق ترددي للبت وتقسيم هذه النطاقات زمنياً بين أجهزة الاستقبال والإرسال، لكن هذا النوع يحتاج إلى مزامنة وتنسيق كبير بين أجهزة الاستقبال والرسال بالإضافة إلى تعقيد هذه الأجهزة. لاحظ شكل (22).



شكل (٢٢) : TDM, FDM



شكل (٢١) : TDM



شكل (٢٣) : CDMA

الإرسال المتعدد بالتقسيم الرمزي CDMA:

في هذا النوع من الإرسال المتعدد تستغل كافة القنوات المتاحة في عملية الإرسال، وذلك بإعطاء كل جهاز إرسال رمزاً خاصاً، ومن ثم استخدام كامل النطاق المتاح للإرسال. وفي جهاز الاستقبال يمكن التعرف على إشارات كل جهاز بناء على رمزه، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة الأنظمة التي تستخدمه مقارنة بالأنظمة السابقة، كما أنه لا يحتاج إلى مزامنة بين جهاز الإرسال والاستقبال. لاحظ شكل (23).

ترميز خط النقل

لتنظيم وترتيب الرموز الثنائية المعبرة عن المعلومات الثنائية المرسله بواسطة خط الاتصال، يستخدم ترميز بنماذج مختلفة، بهدف:

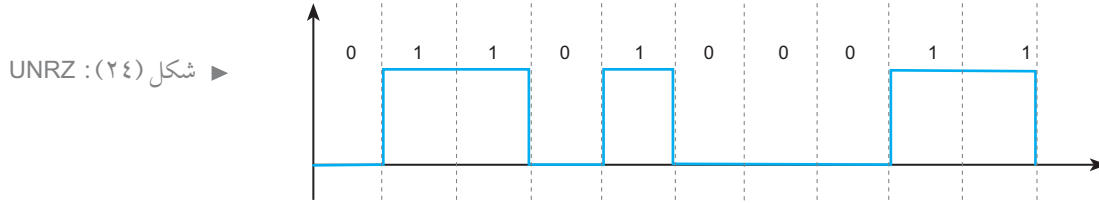
١. تقليل النطاق الترددي، لتلائم مع النطاق الترددي لخط النقل.

٢ . تقليل مركبة الفولتية المستمرة (DC) .

٣ . زيادة سرعة الإرسال عبر قناة الاتصال .

ومن أهم هذه النماذج :

١ . نموذج أحادي القطبية مع عدم العودة للصفر (UNRZ) ، وتمثل حالة المنطق (1) بوساطة نبضة ثابتة الاتساع ، في حين تمثل حالة المنطق (0) بقطع الإشارة كما هو موضح بشكل (24) .



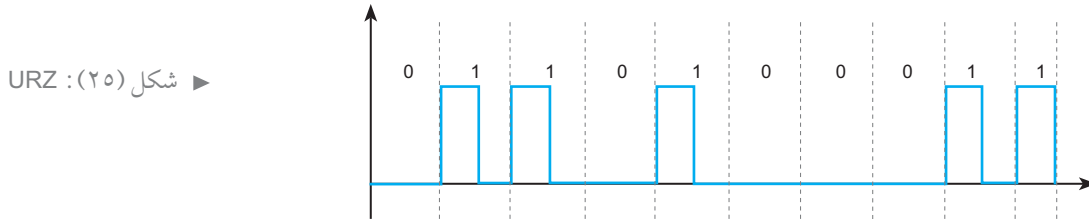
ومن عيوبه أنه يحتوي على مركبة الفولتية مستمرة (DC) ، ولذلك فهو لا يستخدم إلا في المسافات القريبة .

٢ . نموذج أحادي القطبية مع العودة إلى الصفر (URZ) ، تمثل حالة

UNRZ Unipolar Non Return to Zero

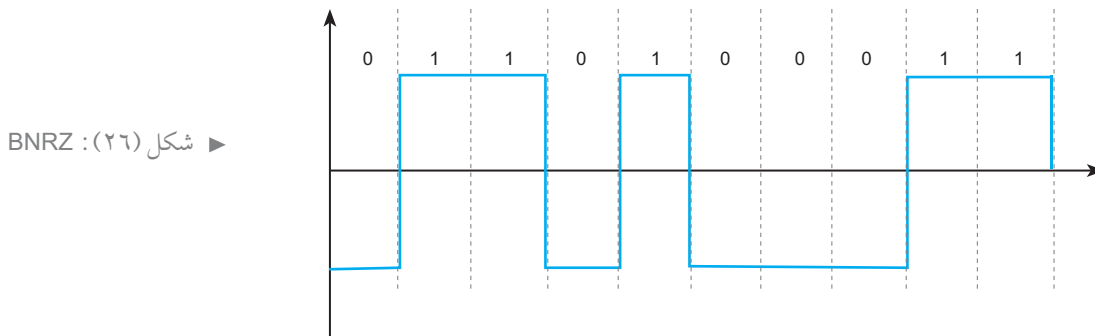
URZ Unipolar Return to Zero

المنطق (1) بوساطة نبضة ثابتة الاتساع ، ولكن بعرض نطاق يعادل نصف زمن الثنائية (bit) ، ولا ترسل إشارة في حالة الصفر (0) كما هو موضح بشكل (25) .



يعدّ هذا النموذج أفضل من النموذج السابق ، لأنه يقلل مركبة الفولتية المستمرة (DC)

٣ . نموذج ثنائي القطبية مع عدم العودة إلى الصفر (BNRZ) ، تمثل حالة المنطق (1) وحالة المنطق (0) بوساطة نبضات ثابتة الاتساع ومتعاكسة في القطبية ، كما هو موضح بشكل (26) .

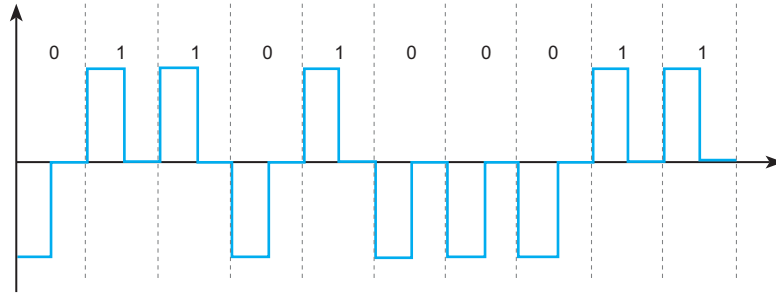


ويمتاز هذا النموذج بانخفاض مركبة الفولتية المستمرة (DC) مقارنة مع نموذج أحادي القطبية.

BNRZ Bipolar Non Return to Zero
BRZ Bipolar Return to Zero

٤. نموذج ثنائي القطبية مع العودة إلى الصفر (BRZ)، تمثل حالة المنطق (1) وحالة المنطق (0) بوساطة نبضات ثابتة بالاتساع ومتعاكسة في القطبية في نصف زمن الثنائية، كما في الشكل (27).

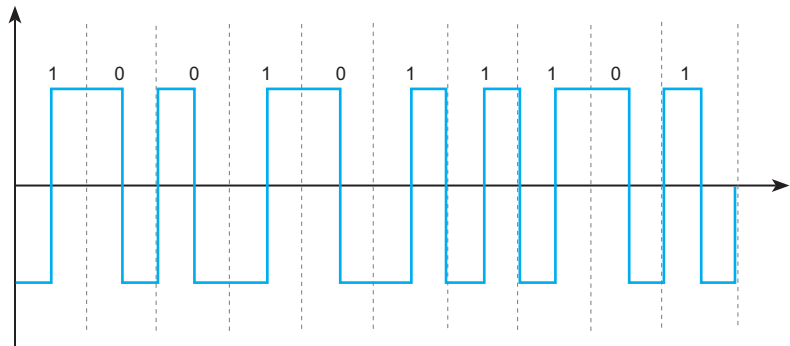
► شكل (٢٧): BRZ



وهو الأفضل في خفض مركبة الفولتية المستمرة (DC)، ويستخدم على نطاق واسع للإرسال.

٥. نموذج مانشستر ثنائي الطور (Biphase Manchester Code)، تمثل حالة المنطق (1) بقطبية سالبة ثابتة الاتساع لنصف زمن الثنائية، ثم ينتقل إلى قطبية موجبة في نصفها الآخر، ويحدث العكس في حالة المنطق 0. كما هو موضح في الشكل (28).

► شكل (٢٨): نموذج مانشستر ثنائي الطور



ويعدّ الأفضل، والأكثر استخداماً مقارنة بالنماذج السابقة.

نشاط

ابحث عن أنواع أخرى من نماذج ترميز خط النقل.

طرق التضمين الرقمية

تستخدم طرق أخرى لنقل الإشارة الرقمية، مثل تضمين إزاحة الاتساع (ASK)، وتضمين الإزاحة الترددية (FSK)، وتضمين الإزاحة الطورية (PSK).

تعد هذه الأنواع من أبسط أنواع التضمين الرقمي، وأكثرها استخداماً في العديد من التطبيقات السلكية واللاسلكية، وتتميز بانخفاض النطاق الترددي اللازم لعملية الإرسال في الأنظمة السلكية، بالإضافة إلى أن الإشارة الرقمية لا يمكن إرسالها لاسلكياً، إلا بتحويلها على إشارة تماثلية في الأنظمة اللاسلكية.

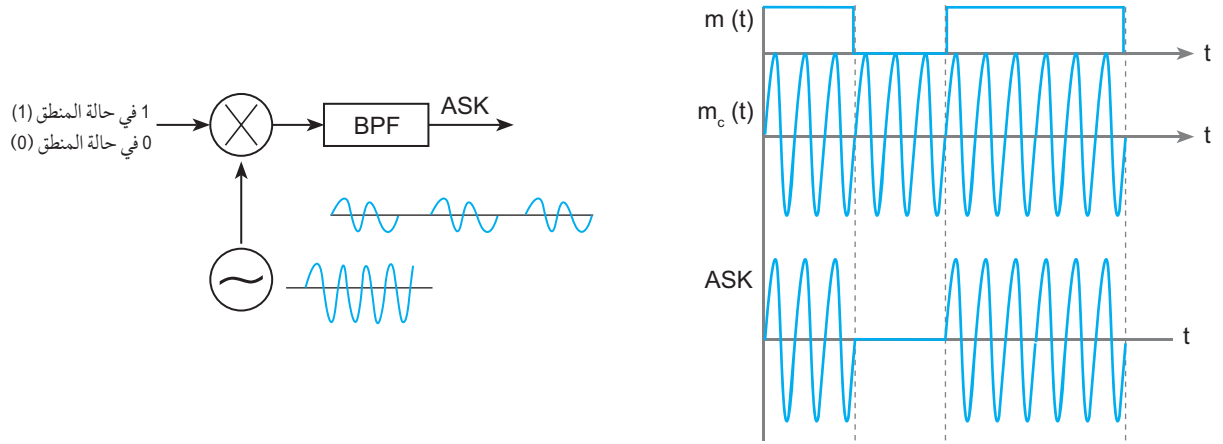
وقد تم إدخال بعض التحسينات عليها بغرض:

١. تقليل تأثير التشويش.
٢. زيادة سرعة النقل.
٣. تقليل عرض النطاق.

وتستخدم هذه الطرق في العديد من التطبيقات اللاسلكية مثل الهواتف اللاسلكية، والخلوية، وأنظمة المناداة والميكروويف والأقمار الصناعية، وأنظمة التحكم، كما تستخدم في المودم وفي الاتصالات السلكية.

تضمين إزاحة الاتساع (ASK)

يقصد به إزاحة اتساع الموجة الحاملة من القيمة الأدنى في حالة الصفر (0) إلى القيمة العليا في حالة الواحد (1)، ويوضح شكل (29) مفهوم هذا التضمين.



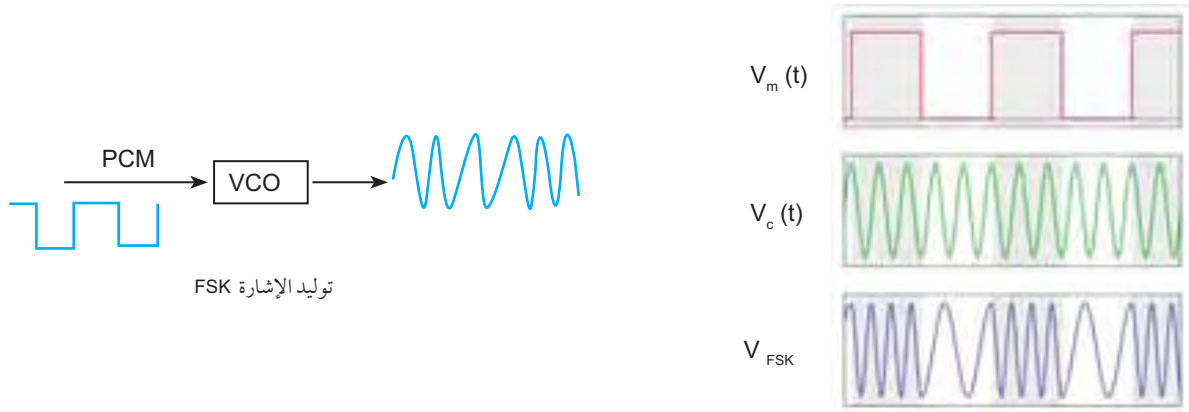
شكل (٢٩): تضمين إزاحة الاتساع

يتم كشف هذه الإشارة باستخدام كاشف الغلاف (Envelope Detector) ومن مميزاته:

١. يستخدم عرض نطاق ترددي قليل.
٢. حساس جداً للتغيرات غير الخطية.

تضمين الإزاحة الترددية (FSK)

يقصد بهذا التضمين إرسال الواحد المنطقي (1) والصفر المنطقي (0) على ترددات مختلفة بحيث تأخذ إحدى الحالتين (أي تكون قيمة أحد الترددين أعلى من قيمة التردد الآخر). ويوضح شكل (30) مفهوم هذا التضمين.



شكل (٣٠): تضمين الإزاحة الترددية

VCO : مذبذب متحكم به بالفولت ، ويستخدم في الكثير من الأنظمة اللاسلكية .

تضمين الإزاحة الطورية (PSK)

يعتمد هذا التضمين على تغير فرق الطور ، حيث يتغير طور الإشارة الحاملة حسب إشارة المدخل الثنائية ، ويعدّ من أكثر الأنواع شيوعاً واستخداماً في الاتصالات الرقمية ، وهذا يعود للأسباب الآتية :

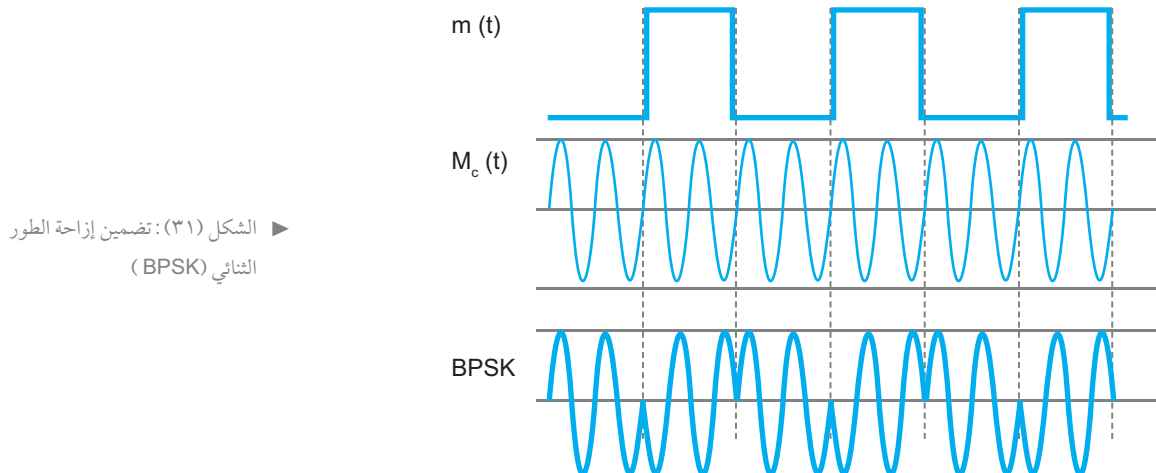
ASK	Amplitude Shift Keying
FSK	Frequency Shift Keying
VCO	Voltage Controlled Oscillator
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
PSK	Phase Shift Keying
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying

- ١ . صغر عرض النطاق الترددي .
- ٢ . يتمتع هذا التضمين بجودة عالية .
- ٣ . غير حساس للتغيرات غير الخطية في الاتساع .
- ٤ . يحتاج إلى قدرة إرسال أقل من الأنظمة الأخرى .

ومن أنواعه :

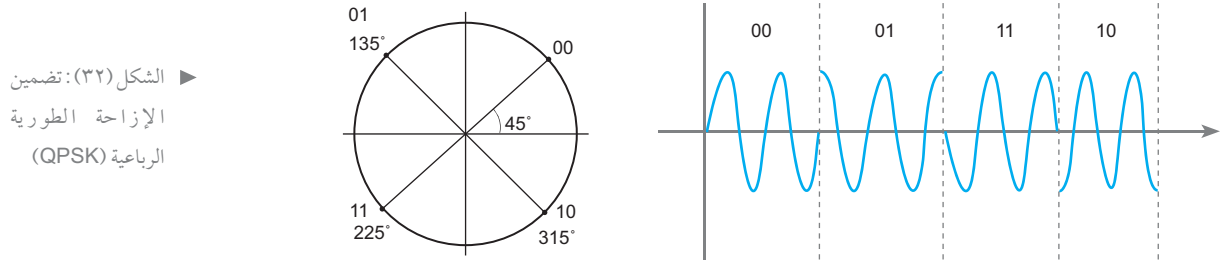
أ. تضمين الإزاحة الطورية الثنائية (Binary PSK)

وفيه يأخذ طور الموجة الحاملة إحدى قيمتين محتملتين ، يبين شكل (31) مفهوم هذا التضمين .



ب . تضمين الإزاحة الطورية الرباعية (QPSK)

هو عبارة عن تقنية تضمين رقمي بحيث يأخذ طور الموجة الحاملة أحد أربع قيم محتملة، هي : $[0, \frac{\pi}{2}, \pi, 2\pi]$ ، لاحظ شكل (32).



ج . تضمين الإزاحة الطورية متعددة المستويات (MPSK).

هو تقنية تضمين رقمي، بحيث يأخذ طور الموجة الحاملة قيمة معينة من ضمن مجموعة من القيم المحتملة وهذا يعتمد على إشارة النطاق الأساسي الثنائية، حيث :

$$N_b = L_2 \log M \rightarrow M = 2^N$$

حيث إن : N_b : هو عدد الخانات لكل رمز (طور).

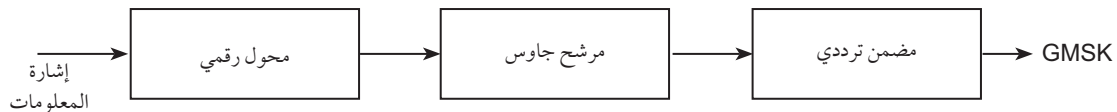
M : هو عدد الحالات الممكنة (الأطوار المختلفة).

نشاط

إبحث عن نظام تضمين الإزاحة الطورية الثماني (8PSK).

د . تضمين لإزاحة الدنيا الجاوسي GMSK

هو نوع من تضمين الإزاحة الترددية ذات الطور المتصل، وتحول المعلومات الرقمية $1 \rightarrow 1, 0 \rightarrow -1$ ، ثم يستخدم مرشح جاوس لتمرير التردد المنخفض، ويتم تضمين الإشارة باستخدام مضمن ترددي FM لتصبح الإشارة إشارة GMSK. إن استخدام مرشح جاوس يقلل من النطاق الترددي اللازم للإرسال، ويقلل من حدوث التداخل بين القنوات المجاورة. لاحظ شكل (33).



شكل (٣٣): تضمين الإزاحة الدنيا الجاوسي

- س١ : اشرح مع الرسم أنواع الإشارات الكهربائية .
- س٢ : ارسم المخطط الصندوقي الذي يوضح عمل المحول التماثلي إلى رقمي (A/D) .
- س٣ : عرف المفاهيم الآتية : نظرية العينات ، تشويش التكميم ، تضمين دلتا ، كاشف الغلاف ، نظام BPSK ، نظام ASK ، نظام GMSK .
- س٤ : أذكر مزايا الأنظمة الرقمية .
- س٥ : اذكر سلبيات الأنظمة الرقمية .
- س٦ : اذكر مزايا وعيوب نظام PCM .
- س٧ : إذا أعطيت إشارة المعلومات التالية : $m(t) = 10 \cos(1000 \pi t)$ أ. أوجد ما يأتي : سعة الإشارة ، تردد الإشارة (f_m) ، تردد عينات الإشارة f_s ، عدد العينات في كل فترة .
ب. إذا استخدم رمز لتمثيل كل عينة بثلاث خانات ، أوجد عدد المستويات L ومقدار Δ .
- س٨ : أعط مثالا عمليا لدائرة أخذ العينات .
- س٩ : إذا أرسلت إشارة المعلومات $m(t) = 10 \cos(800 \pi t)$ بوساطة نظام تضمين PCM ($L = 8$ ، $1 = \Delta$) ، فأوجد ما يلي :
أ. معدل طاقة الإشارة . ب. معدل طاقة التشويش . ج. مقدار SNR .
- س١٠ : اشرح مع الرسم كيفية توليد وكشف إشارة PCM .
- س١١ : إذا أعطيت الرمز الثنائي 01011001101 لإشارة معلومات ثنائية مرسله بوساطة خط اتصال معين ، ارسم إشارة الترميز الناتجة عند استخدام :
١ . نموذج ثنائي القطبية مع العودة إلى الصفر BRN .
٢ . نموذج ثنائي القطبية مع عدم العودة إلى الصفر BNRZ .
٣ . نموذج مانشستر ثنائي الطور .
- س١٢ : عدد أنواع الإرسال المتعدد .
- س١٣ : قارن بين نظام PCM ونظام MΔ .
- س١٤ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :
١ . الإشارات الخارجة من الآلات الحاسبة إشارات تماثلية .
٢ . تحتاج الأنظمة التماثلية إلى عرض نطاق ترددي كبير مقارنة مع الأنظمة الرقمية .
٣ . التكميم هو تقريب القيم اللحظية للعينات إلى مستويات محددة .

- ٤ . الترميز هو عملية إعطاء العينات رموزاً رقمية محددة .
- ٥ . يكون زمن أخذ العينات أكبر أو يساوي ضعف زمن إشارة المعلومات التماثلية .
- ٦ . كلما زاد عدد المستويات المستخدمة في دائرة المكمم قل تأثير تشويش التكميم .
- ٧ . تكون العلاقة بين عدد المستويات L وعدد الخانات الثنائية n هي : $n = L^2$.
- ٨ . يتناسب عرض النبضة تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في تضمين مكان النبضة .
- ٩ . تستخدم أنظمة التضمين النبضي في أنظمة الاتصالات قصيرة المدى .
- ١٠ . من مزايا التضمين PCM استخدامه في أنظمة التجميع الرقمي TDM .
- ١١ . يعدّ نظام دلتا (ΔM) أكثر تكلفة من نظام PCM .
- ١٢ . من أنواع الإرسال المتعدد التقسيم المكاني SDM .
- ١٣ . يمكن استخدام نماذج مختلفة من الترميز لزيادة النطاق الترددي .
- ١٤ . يعدّ نظام BPSK أحد تقنيات التضمين الرقمي حيث يتم إرسال الواحد المنطقي والصفر المنطقي على ترددات مختلفة .
- ١٥ . يعتبر نظام GMSK نموذجاً من نماذج الإزاحة الترددية ذات الطور المتصل .

س١٥ : اختر الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية :

- ١ . من سلبيات أنظمة الاتصال الرقمية :
 - أ . التشويش العالي .
 - ب . التكلفة العالية .
 - ج . عدم الاستقرار بالعمل .
 - د . حاجتها لعرض نطاق ترددي كبير .
- ٢ . آلية التحويل التماثلي - الرقمي تعني :
 - أ . أخذ العينات وترميزها .
 - ب . أخذ العينات وتكميمها .
 - ج . تكميم العينات وترميزها .
 - د . غير ذلك .
- ٣ . تشترط نظرية العينات تحقيق الشرط الآتي :
 - أ . $2f_m \leq f_s$.
 - ب . $f_m \geq f_s$.
 - ج . $2f_m = f_s$.
 - د . $T_m/2 \leq T_s$.
- ٤ . يكون معدل طاقة تشويش التكميم في نظام PCM ($L = 8$ ، $\Delta = 1$) ، هي :
 - أ . $0.96w$.
 - ب . $1w$.
 - ج . $0.083w$.
 - د . غير ذلك .
- ٥ . من طرق التضمين النبضي :
 - أ . ASK .
 - ب . PSK .
 - ج . أ + ب .
 - د . PPM .
- ٦ . من أنظمة التضمين الرقمي :
 - أ . GMSK .
 - ب . PPAM .
 - ج . PWM .
 - د . غير ذلك .

الهوائيات وانتشار الموجات

Antennas And Wave Propagation

٢



الهوائيات وانتشار الموجات

درست سابقاً المكونات الأساسية لنظام الاتصالات ، وهي ثلاثة : المرسل والمستقبل والوسط الناقل بينهما .
في هذه الوحدة سيتم التركيز على دراسة منظومة الهوائيات والفضاء الحر كوسط ناقل .

أهداف الوحدة

- بعد دراستك هذه الوحدة ، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن :
- تميز أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية ، وطرق انتشارها ، واستخداماتها العملية .
 - تتعرف على طبقات الغلاف الجوي المحيط بالأرض .
 - تحدد نطاق الترددات الراديوية في الطيف الكهرومغناطيسي ، وأقسامه ، واستخداماته العملية .
 - توضح مفهوم الاستقطاب .
 - تشرح أهم خصائص الهوائيات .
 - تتعرف أهم أنواع الهوائيات ، وخصائصها ، واستخداماتها العملية .

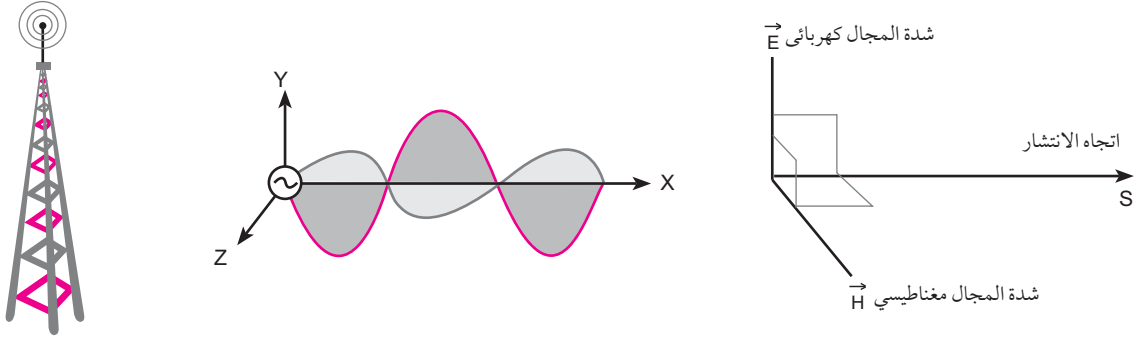
الموجات الكهرومغناطيسية

يحتاج أي نظام اتصال لاسلكي إلى هوائي إرسال، لبث الموجات الكهرومغناطيسية التي تمثل المعلومات المرسلية من المصدر، كما يحتاج أيضاً إلى هوائي استقبال، لتحويل الموجات الكهرومغناطيسية الملتقطة إلى إشارات كهربائية مناسبة للكشف في جهة الاستقبال.

قبل البدء بدراسة الهوائيات وخصائصها وأنواعها، لابد من دراسة خصائص الموجة الكهرومغناطيسية وطرق انتشارها، بالإضافة إلى التعرف على خصائص الغلاف الجوي كوسط انتشار للموجات الكهرومغناطيسية.

The Electromagnetic Wave خصائص الموجة الكهرومغناطيسية

تتكون الموجة الكهرومغناطيسية من مجال كهربائي \vec{E} ومجال مغناطيسي \vec{H} متعامدين بعضهما مع بعض، ومع اتجاه انتشارهما. كما هو موضح في الشكل (1).



شكل (1): موجة كهرومغناطيسية

ويمكن تلخيص أهم خصائص الموجة الكهرومغناطيسية بما يأتي:

١. تنتشر في الفضاء بسرعة تقترب من سرعة الضوء البالغة 3×10^8 متر/ ثانية، وتقل سرعتها عند انتقالها

في الأوساط الأخرى، حسب نوع وطبيعة الوسط الناقل.

٢. لها طول موجي (λ) يرتبط مباشرةً بتردد الموجة، حيث:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : طول الموجة بالمتر.

f : تردد الموجة بالهيرتز.

c : سرعة الضوء البالغة 3×10^8 متر/ ثانية.

ومن المفيد معرفة أن طول الموجة الكهرومغناطيسية ضروري لتصميم الهوائي، ومعرفة أبعاده، كما سيتضح لاحقاً.

٣. تمتد ترددات الموجات الكهرومغناطيسية على نطاقٍ واسعٍ، فيما يعرف بالطيف الكهرومغناطيسي (The Electromagnetic Spectrum).

٤. عند انتقال الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها عبر عدد من الأوساط المختلفة فإنها قد تتعرض إلى الإنكسار أو الإنعكاس أو الحيود، وقد تعاني أيضاً من التداخل أو الخفوت والتي يمكن تعريفها بالآتي:

■ الانكسار Refraction: يقصد به تغير اتجاه شعاع الموجة الكهرومغناطيسية عند انتقاله من وسط إلى وسط آخر له خصائص كهربائية مختلفة، بحيث ينتقل بين الوسطين مائلاً أو منحرفاً. انظر الشكل (2).

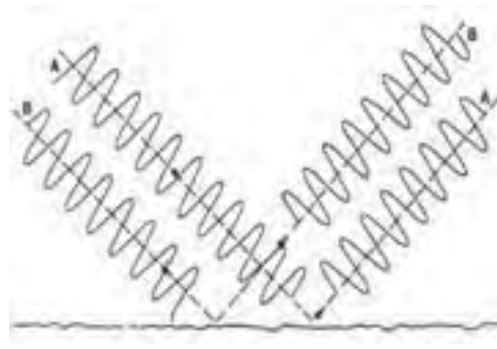
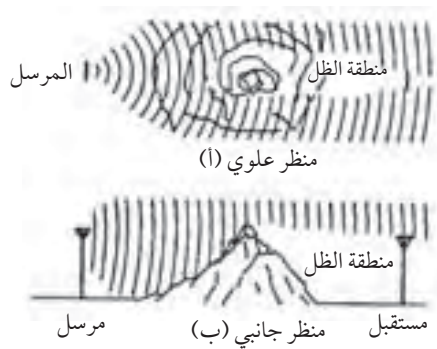


■ الانعكاس Reflection: هو تغيير الموجة الكهرومغناطيسية لاتجاهها في نفس الوسط نتيجة لسقوطها على حاجز يفصل هذا الوسط عن وسط آخر يختلف معه في الخصائص الكهربائية. انظر الشكل (3).

الشكل (٢): موجة كهرومغناطيسية منكسرة

■ الحيود Diffraction: هو مقدرة الموجة الكهرومغناطيسية على الانحراف عن الزوايا الحادة، والانحناء عن العوائق التي تواجهها. انظر الشكل (4).

■ التداخل Interference: هو اختلاط موجتين أو أكثر عند تواجدها في نفس المكان والزمان وعندما تكون ترددات هذه الموجات متقاربة.



شكل (٣): الانعكاس

شكل (٤): حيود موجة كهرومغناطيسية عن أحد المواقع

■ الخفوت Fading: هو التغير في شدة الموجة الكهرومغناطيسية، بحيث تضعف عند انتقالها في الفضاء من المرسل إلى المستقبل. ويحدث ذلك نتيجة لعوامل متعددة كالانعكاس عن سطح الأرض أو الانكسار في طبقات الجو العليا، وبفعل تأثير العوامل الجوية أيضاً.

مثال (٢): موجة كهرومغناطيسية ذات طول موجي 100 ملم احسب ترددها

الحل: $\lambda = \frac{c}{f}$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{100 \times 10^{-3}} = 3\text{GHz}$$

طرق انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

يعتمد انتشار الموجة الكهرومغناطيسية بشكل أساسي على تردد هذه الموجة بالإضافة إلى طبيعة وسط الانتشار، ويمكن تقسيم الأمواج بحسب طرق انتشارها إلى الموجات الأرضية السطحية، والموجات السماوية، والموجات الفضائية.

الموجات الأرضية السطحية (Ground Surface Waves)

وقد سميت بهذا الاسم؛ لأنها تنحني وتتبع سطح الأرض عند انتشارها. يتراوح مجال الترددات المستخدم عند الاتصال بين نقطتين باستخدام الموجات الأرضية بين 150 كيلو هيرتز إلى 500 كيلو هيرتز.

هناك مزايا لاستخدام هذا النوع من الموجات في عملية الاتصال، تتمثل في:

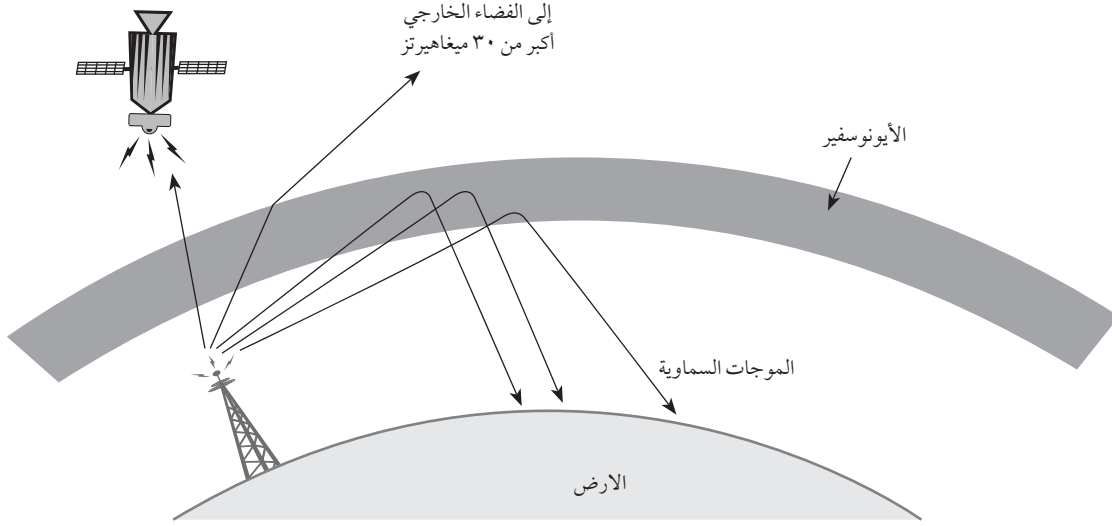
- الوصول إلى مسافات بعيدة، تصل إلى 4000 كيلومتر؛ لذا فهي تستخدم في الاتصالات البحرية.
- الوثوقية العالية؛ إذ يمتاز انتشار هذه الموجات بعدم تأثره بتعاقب الليل والنهار، أو فصول السنة، كما أنه لا يتأثر بالأحوال الجوية.

أما أهم العيوب فهي:

- محطات إرسال ذات قدرة كهربائية عالية؛ مما يجعلها غير اقتصادية.
- محدودية النطاق الترددي المتاح للاستخدام (حوالي 350 كيلو هيرتز).
- الهوائي المستخدم لإشعاع الأمواج الأرضية ذو أبعاد كبيرة، نظراً لانخفاض التردد.

الموجات السماوية (Sky Waves)

وهي التي يتم بثها نحو السماء لتعود ثانية إلى الأرض، بفعل انعكاسها داخل طبقة الأيونوسفير (التي سيتم شرحها لاحقاً)، وتعتمد المسافة التي تقطعها هذه الموجات داخل طبقة الأيونوسفير على ترددها حيث تزداد بازدياد التردد. أما إذا زاد ترددها عن قيمة معينة (حوالي 30 ميغاهيرتز) فستنتقل إلى الفضاء الخارجي ولا تنعكس إلى الأرض، كما هو مبين في الشكل (5).



شكل (٥): انعكاس الموجات السماوية عن طبقة الأيونوسفير

تستخدم الموجات السماوية بكثرة في عمليات البث الإذاعي، حيث يمكن تحقيق انتشار يصل إلى 4000 كيلومتر في الظروف الجيدة، وأهم مزايا استخدام الموجات السماوية في الاتصال:

- لا تحتاج محطة الإرسال إلى قدرة كهربائية عالية.
- لا تتأثر بسطح الأرض، وقادرة على توفير اتصالات ضمن نطاق الترددات العالية (3 - 30 ميغاهيرتز) لعدد كبير من المحطات الإذاعية.
- يمكن تحقيق الاتصال لمسافات بعيدة.

أما العيوب فتتمثل في:

- عدم استقرار نظام الإرسال لاعتماده على طبقة الأيونوسفير، والتي تتغير باستمرار خلال اليوم وخلال فصول السنة، بالإضافة لتأثرها بالظروف الجوية.
- لا يمكن استخدام هذا النمط من الإرسال في أنظمة الاتصال التي تتطلب عرض نطاق ترددي كبير.

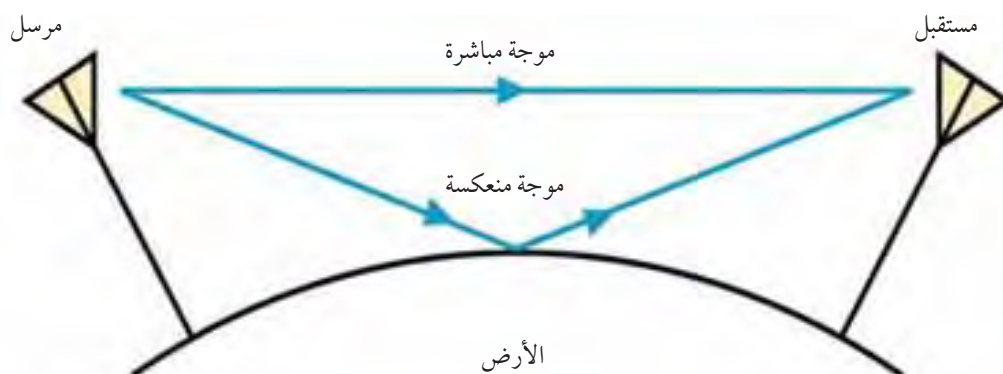
الموجات الفضائية (Space waves)

إن تردد هذه الموجات يكون عادةً أعلى من 30 ميغاهيرتز؛ لذا فهي تميل إلى الانتشار بخطوط مستقيمة لتحقيق الاتصال بين أنظمة خط الرؤية على سطح الأرض، أو في الاتصالات الفضائية عبر الأقمار الصناعية.

تنقسم الموجات الفضائية إلى قسمين:

- أ. الموجات المباشرة: وهي التي تصل مباشرةً من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، وتشكل غالبية الموجات الفضائية المرسلة.

ب. الموجات المنعكسة من الأرض: وهي التي تصل إلى هوائي الاستقبال بعد انعكاسها عن سطح الأرض، وتشكل نسبة قليلة من الموجات الفضائية المرسل، كما هو موضح في الشكل (6).



شكل (٦): انتشار الموجة الفضائية

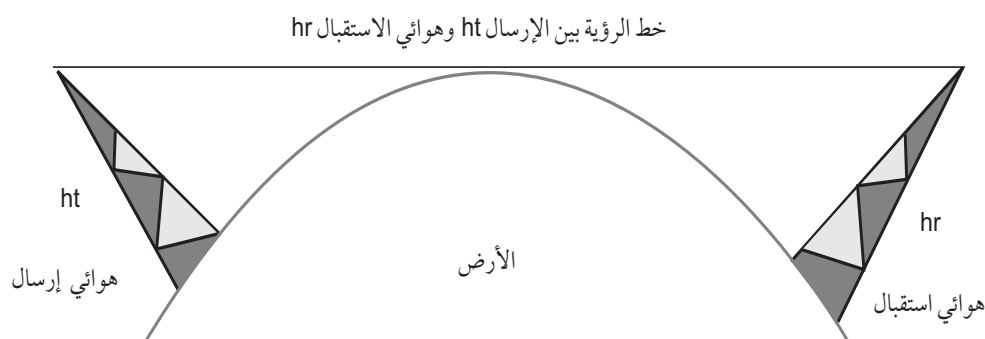
ومن الجدير بالذكر، أنه لاستخدام الموجات الفضائية في عمليات الاتصال فإنه يشترط وجود خط رؤية (نظر) (Line – Of – Sight) بين هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال، ويمكن حساب أكبر مسافة ممكنة لتحقيق خط الرؤية من العلاقة التالية:

$$R \text{ (km)} = 4 \left(\sqrt{ht \text{ (m)}} + \sqrt{hr \text{ (m)}} \right)$$

R: المسافة بين هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال بالكيلو متر.

ht: ارتفاع هوائي الإرسال عن سطح الأرض بالمتري.

hr: ارتفاع هوائي الاستقبال عن سطح الأرض بالمتري.



شكل (٧): خط الرؤية بين هوائي خط الإرسال والاستقبال

مثال (٢): احسب أكبر مسافة ممكنة بين هوائي إرسال واستقبال مع المحافظة على وجود خط رؤية بينهما، إذا علمت أن ارتفاع كل منهما يساوي 36 متراً.

الحل: $R (km) = 4 (\sqrt{hr (m)} + \sqrt{ht (m)})$

وبالتعويض في المعادلة أعلاه نحصل على :

$$R (km) = 4 (\sqrt{36} + \sqrt{36}) = 4 (6 + 6) = 48 \text{ Km}$$

يكثر استخدام الموجات الفضائية في إتصالات الميكروويف وفي البث التلفزيوني ، بالإضافة إلى الاتصالات عبر الأقمار الصناعية .

مزايا استخدام هذه الموجات في عمليات الاتصال هي :

■ درجة الوثوقية عالية .

■ النطاق الترددي المتاح لنقل المعلومات كبير .

أما العيوب فهي :

■ كثرة استخدام محطات التقوية عند الإرسال لمسافات بعيدة؛ مما يزيد من التكلفة الاقتصادية .

■ تتأثر الموجات المباشرة أكثر من غيرها بالعوامل الجوية كالمطر والثلج وغيرها، حيث تعمل على إضعافها وتشتيتها .

طبقات الغلاف الجوي المحيط بالأرض

أهمية الغلاف الجوي



شكل (٨): مكونات الغلاف الجوي المحيط بالأرض

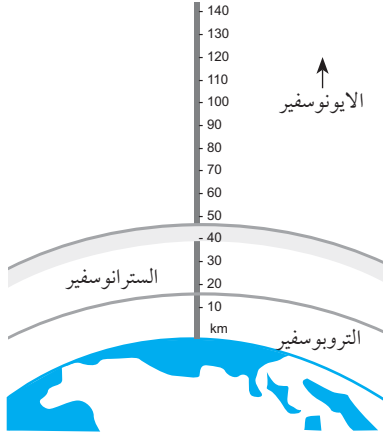
الغلاف الجوي الأرضي هو عبارة عن طبقة رقيقة مركبة من الغازات كغاز الأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والهيليوم وبعض الغازات الأخرى وبنسب متفاوتة، كما يظهر في الشكل (8).

يحيط الغلاف الجوي بالأرض ويحميها، ويعد وجوده عاملاً أساسياً ومهماً جداً في نشأة الحياة على الأرض .

إن الغلاف الجوي هو الوسط الذي تتحرك من خلاله الموجات الكهرومغناطيسية عند انتقالها من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، ولفهم كيفية انتقال هذه الموجات، والتأثيرات التي تتعرض لها خلال انتقالها من مكان لآخر لابد من تقديم شرح مبسط للغلاف الجوي المحيط بالأرض .

يقسم الغلاف الجوي كما يظهر من الشكل (9) إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي طبقة التروبوسفير أو الطبقة المنخفضة، وطبقة الستراتوسفير وطبقة الأيونوسفير .

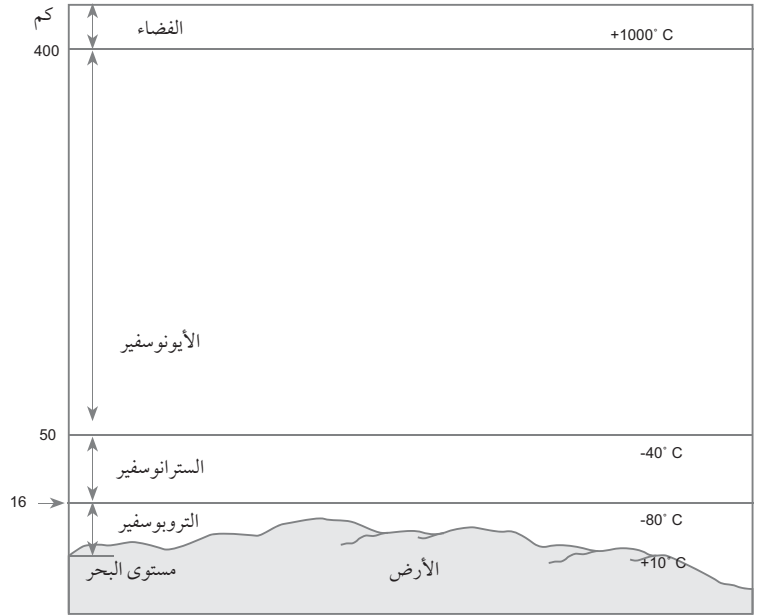
طبقة التروبوسفير أو الطبقة المناخية Troposphere



الشكل (٩): الطبقات الرئيسية للغلاف الجوي

يمثل التروبوسفير الطبقة السفلى من الغلاف الجوي ، ويمتد من مستوى سطح البحر إلى ارتفاع (16km) تقريباً. تعدّ طبقة التروبوسفير الطبقة الفعالة في تغيرات المناخ ، ويطلق عليها الطبقة المناخية لحدوث جميع الظواهر الجوية في هذه الطبقة كالضباب والغيوم والأمطار والعواصف الرعدية والعواصف الرملية ، وكذلك حدوث تقلبات المناخ و الطقس وما يتبع ذلك من رطوبة وحرارة وضغط . تحتوي طبقة التروبوسفير أيضاً على معظم بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي ، وتتناقص درجات الحرارة في هذه الطبقة كلما ارتفعنا للأعلى كما يظهر في الشكل (10) .

جميع العوامل السابقة يمكن أن تؤثر في كفاءة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية وانتقالها ، وإن التشويش الناتج عن الظواهر الجوية في هذه الطبقة يؤدي إلى التشويش على معظم أنظمة الاتصال .



الشكل (١٠): العلاقة بين الحرارة والارتفاع عن سطح البحر في طبقات الغلاف الجوي

طبقة الستراتوسفير Stratosphere

تقع فوق طبقة التروبوسفير ، وتمتد إلى ارتفاع 50 كم تقريباً من سطح الأرض . تتميز بالاستقرار التام لشبوت درجة الحرارة والضغط الجوي فيها ، كما ينعدم بخار الماء ، لهذه الأسباب ، تعدّ هذه الطبقة ذات تأثير ضعيف على الأمواج الكهرومغناطيسية .

طبقة الأيونوسفير Ionosphere

تمتد هذه الطبقة من ارتفاع 50 كم ولغاية 400 كم تقريباً، وقد سميت بهذا الاسم؛ لأنها المنطقة التي يحدث فيها التأين للغازات المحيطة بالأرض، بسبب امتصاص هذه الغازات لكميات كبيرة من الطاقة التي تستمدّها من الأشعة الشمسية فوق البنفسجية.

تتألف المنطقة المتأينة من أربع طبقات رئيسية، هي:

١. طبقة D: على ارتفاع 50 - 90 كم تقريباً من سطح الأرض، لا تظهر هذه الطبقة إلا في النهار حيث تبدأ بالتلاشي والزوال مع ابتداء ظلمة الليل، ومن أهم خصائصها:

- تعكس الموجات ذات التردد المنخفض جداً (VLF)، مما يوفر إمكانية الاتصال باستخدام هوائيات بأبعاد كبيرة وبقدرة إرسال عالية.
- تمتص موجات التردد المنخفض (LF) والمتوسط (MF).
- تعكس الموجات التي يقل ترددها عن 3 ميغاهيرتز.
- تؤثر على الموجات التي يزيد ترددها عن 3 ميغاهيرتز، ويقل هذا التأثير بازدياد التردد.

٢. طبقة E: تنشأ من تأين جزيئات الأكسجين O_2 وتقع على ارتفاع 100 كم من سطح الأرض بسمك 25 كم تقريباً، تختفي (تقريباً) خلال الليل، ومن أهم خصائصها:

- تعكس موجات لغاية 20 ميغاهيرتز، وبالتالي تسمح باتصالات المدى المتوسط حتى 1900 كم تقريباً.
 - تؤثر على الموجات التي يزيد ترددها عن 20 ميغاهيرتز، ويقل هذا التأثير بازدياد التردد.
٣. طبقة F1: تنشأ من تأين جزيئات النيتروجين، وتقع على ارتفاع 200 كم بسمك 20 كم تقريباً، ومن أهم خصائصها:

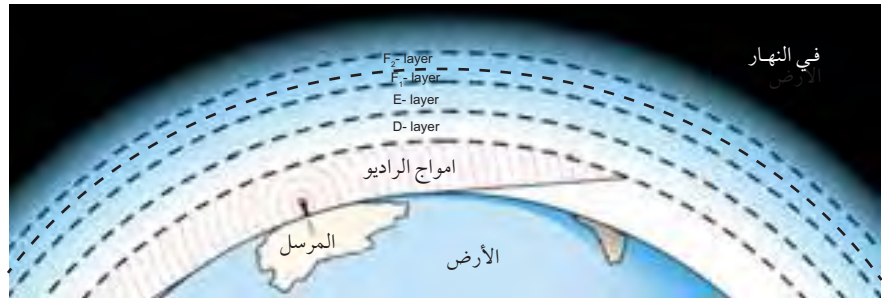
- تعمل على امتصاص بعض موجات التردد العالي HF وتوهين بعضها الآخر، وعادةً فإن الترددات التي تخترق الطبقة E تمر أيضاً من الطبقة F1، ويتم عكسها بواسطة الطبقة F2.

٤. طبقة F2: تنشأ من تأين العديد من ذرات الغازات كالأكسجين والهيليوم والهيدروجين. تقع طبقة F2 على ارتفاع 400 كم تقريباً من سطح الأرض، وهي الطبقة الأكثر كثافة بالأيونات والأكثر فعالية، لذا فهي الطبقة الأكثر أهمية في الاتصالات بعيدة المدى، خاصةً في مجال التردد العالي HF (حتى 30 ميغاهيرتز) حيث تعمل على انتشار الموجات العالية التردد إلى مسافات بعيدة.

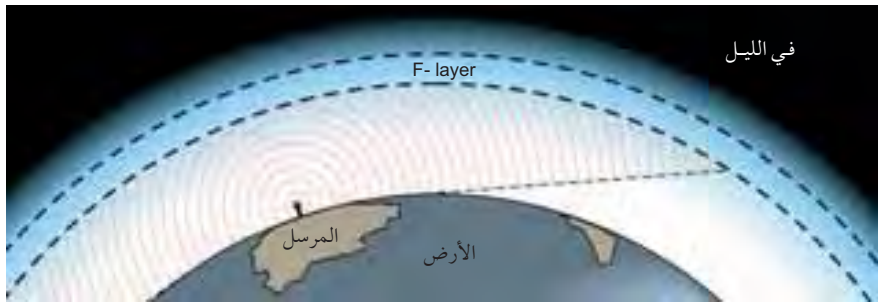
ومما يجدر ذكره أن طبقتي F1 و F2 تندمجان ليلاً لتشكلا طبقة واحدة تدعى F، وبالتالي يكون انعكاس الموجات واستقبالها ليلاً أفضل منه نهاراً، ويتم بصورة أفضل أيضاً.

الشكل (11) يبين طبقات الأيونوسفير خلال النهار والليل.

الشكل (١١-أ): طبقات الجو المتأينة خلال النهار



الشكل (١١-ب): طبقات الجو المتأينة خلال الليل



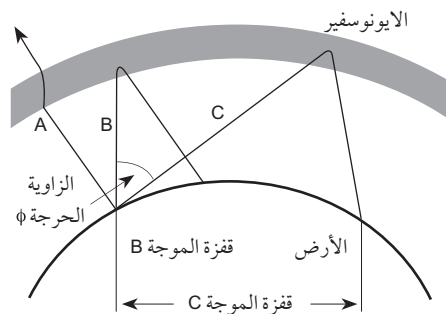
العوامل المؤثرة في انعكاس الموجات عن طبقات الأيونوسفير

هل تؤثر زاوية إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية إلى طبقة الأيونوسفير على المسافة التي يمكن أن يصلها البث؟ وكيف يؤثر تردد الإشارة المرسل في انعكاسها عن طبقة الأيونوسفير؟ وهل يوجد تأثير لكثافة الأيونوسفير واستقراريته في عكسه للأمواج؟

تأثير زاوية الإشعاع Radiation Angle

تعرف زاوية الإشعاع بأنها تلك الزاوية المحصورة بين خط الأفق وهوائي الإرسال .

وتكون العلاقة بين زاوية الإشعاع ومسافة القفزة للموجة المرسل علاقة عكسية ، فبازيادة هذه الزاوية تقل مسافة القفزة للموجة ، وتقرب من محطة الإرسال إلى أن تصل إلى الزاوية الحرجة (Critical Angle) والتي يمكن تعريفها (عند تردد معين) بأنها : أكبر زاوية ترتد عندها الموجات الساقطة على الطبقة المتأينة ، وبزيادة زاوية الإشعاع عن قيمة الزاوية الحرجة لا تستطيع الأمواج الكهرومغناطيسية أن تنحني ضمن الطبقة المتأينة ، بل تمر مخترقةً إلى الفضاء الخارجي .



الشكل (١٢): سلوك الموجات

يظهر في الشكل (12) ثلاث موجات راديوية لها نفس التردد ، وتدخل

طبقة الأيونوسفير بزوايا إشعاع مختلفة :

- الموجة A تخترق طبقة الأيونوسفير إلى الفضاء الخارجي ، ولا تعود إلى الأرض ، لأن زاوية الإشعاع لها أكبر من الزاوية الحرجة (90 درجة تقريباً) .

- الموجة B تم إرسالها بزاوية إشعاع تساوي الزاوية الحرجة ، لذا فإنها تنحني وتعود إلى الأرض ، وتكون مسافة القفزة أصغر مما يمكن .
- الموجة C تنحني وتعود إلى الأرض عند مسافة أبعد من التي وصلتها الموجة B ، والسبب يعود إلى أن زاوية الإشعاع لها أصغر من الزاوية الحرجة (زاوية إشعاع الموجة B) .

تأثير التردد Frequency

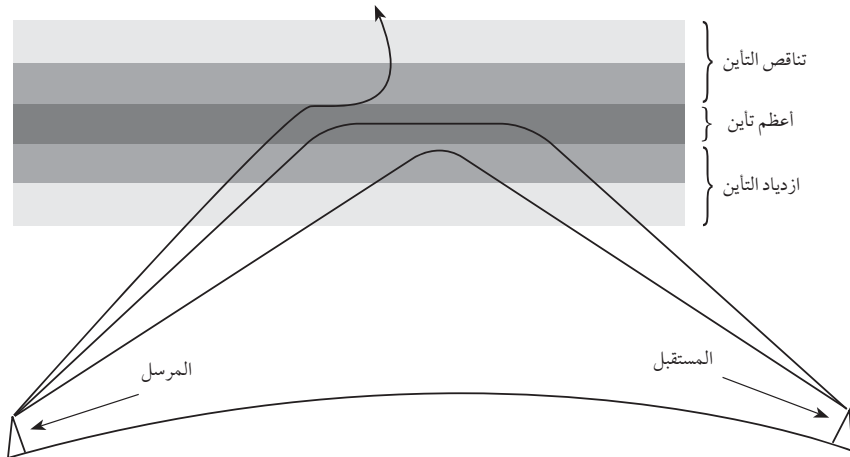
يؤثر تردد الإشارة المرسل على انعكاس الإشارة وعمق اختراقها لطبقات الأيونوسفير وبالتالي في المسافة التي يمكن أن يصلها البث ، وتزداد هذه المسافة بازدياد التردد عند زاوية إشعاع معينة ، ويُعرّف التردد الحرج Critical Frequency بأنه :

التردد الذي إن زاد تردد الإشارة المرسل عنه فإنها لاتعود إلى الأرض ، وإنما تخترق طبقات الأيونوسفير إلى الفضاء الخارجي ؛ لذا فلا اتصالات عبر الأقمار الصناعية تستخدم ترددات أعلى من التردد الحرج للإرسال .

تأثير كثافة الطبقة Layer Density

يظهر الشكل (13) المبين أدناه أن كل طبقة متأينة تتكون من ثلاث مناطق ، هي :

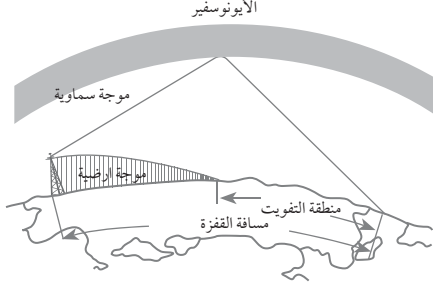
- منطقة ازدياد التأين : وهي ذات كثافة متوسطة وغير منتظمة ، وعندما تدخل الموجة الراديوية إلى هذه المنطقة فإنها تنحني عائداً إلى الأرض .
- منطقة التأين الأعظم : وهي المنطقة الوسطى ذات الكثافة العالية ، وفيها يكون الانكسار أكثر ببطاً لأن كثافة التأين منتظمة .
- منطقة تناقص التأين : عندما تدخل الموجة إلى هذه المنطقة فإنها تنحني بعيداً عن الأرض إلى الفضاء الخارجي .



الشكل (١٣) : تأثيرات كثافة الأيونوسفير على انعكاس الموجات الراديوية

مسافة القفزة ومنطقة التفويت Skip Distance and Skip Zone

كما تعلم ، فإن الموجات الكهرومغناطيسية المرسله (عند ترددات معينة) يمكن أن تنتشر على شكل موجات أرضية وموجات سماوية ، كما يتضح من الشكل (14) .



ويمكن تعريف مسافة القفزة بأنها: المسافة من المرسل إلى أول نقطة تعود إليها الموجة السماوية المرتدة إلى الأرض .

وتعرّف منطقة التفويت بأنها المنطقة التي لا يشملها استقبال البث ، وتبدأ من النقطة التي يضعف عندها استقبال الموجات الأرضية إلى النقطة التي تعود إليها الموجة السماوية المرتدة إلى الأرض .

الشكل (١٤) : العلاقة بين مسافة القفزة ومنطقة التفويت والموجات الأرضية

نشاط (١):

ابحث في تأثير طبقة الأوزون على انتشار الموجات ضمن طبقات الغلاف الجوي .

نطاق الترددات الراديوية وخصائصه

درست سابقاً الطيف الكهرومغناطيسي وتعرّفت على أجزاء منه ، أما الآن فسيتم شرح قسم آخر له أهمية خاصة في أنظمة الاتصالات ، وهو قسم (نطاق) الترددات الراديوية ، والذي يمتد من (3kHz) ولغاية (300GHz) حيث يعدّ هذا النطاق الأكثر استخداماً في أنظمة الاتصالات ، وسيظل كذلك لسنوات عديدة قادمة ، على الرغم من الأبحاث والدراسات الحديثة في مجال استخدام حزم من الليزر لنقل المعلومات ، والتي أظهرت قدرة حزمة واحدة من الليزر على نقل الملايين من القنوات المستقلة .

الجدول رقم (1) يبين الحزم الثماني لطيف الترددات الراديوية ، مع توضيح لأنماط انتشارها في الغلاف الجوي للأرض ، بالإضافة إلى أهم تطبيقاتها العملية .

نشاط (٢):

ابحث عن الجدول الذي يعرض التسميات الحديثة (الحالية) للحزم الراديوية .

الحزمة الترددية	الاختصار	التردد	نمط الانتشار	التطبيق العملي (الاستخدام)
الترددات المنخفضة جداً .Very Low Frequency	VLF	3-30 كيلو هيرتز .	تنتشر كموجات أرضية	<ul style="list-style-type: none"> • في الاتصالات البحرية لمسافات بعيدة . • للاتصال بالغواصات في الأعماق الضحلة تحت سطح البحر .
الترددات المنخفضة .Low Frequency	LF	300-3000 كيلو هيرتز .	تنتشر كموجات أرضية	<ul style="list-style-type: none"> • لاتصالات المسافات المتوسطة من 1000 إلى 5000 كم خاصة مع الغواصات والسفن في الملاحة البحرية . • يمكن للطائرات استخدام هذه الترددات (LF) بكفاءة، خاصةً وأنها تخترق الغابات والمياه.
الترددات المتوسطة .Medium Frequency	MF	3000-30000 كيلو هيرتز .	يمكن أن تنتشر كموجات أرضية أو سماوية أو فضائية (مباشرة)	<ul style="list-style-type: none"> • لاتصالات المسافات المتوسطة ، وتختلف المسافة بحسب نوع الموجة المستخدم في البث. • النطاق الترددي (526 – 1606) كيلو هيرتز مستخدم في البث الإذاعي AM.
الترددات العالية .High Frequency	HF	3 – 30 ميغا هيرتز .	<ul style="list-style-type: none"> • كموجات أرضية ، تنتشر لمسافة من (50 – 500) كم تقريباً . • كموجات سماوية ، تنتشر لمسافات طويلة تبعاً لظروف الإرسال . 	<ul style="list-style-type: none"> • للاتصال عبر مسافات بعيدة . • في البث الإذاعي بالموجة القصيرة SW. • راديو الهواة Amateur Radio.
الترددات العالية جداً .Very High Frequency	VHF	30-300 ميغا هيرتز .	تنتشر بشكل أساسي كموجات فضائية مباشرة (اتصالات خط الرؤية LOS) .	<ul style="list-style-type: none"> • البث التلفزيوني ل قنوات VHF. • البث الإذاعي FM. • لاتصالات المسافات القريبة (40 – 80) كم . • في الاتصالات الملاحية ، وفي المجال الصناعي والأجهزة الطبية .
الترددات فوق العالية .Ultra High Frequency	UHF	300 - 3000 ميغا هيرتز .	موجات فضائية (مباشرة) .	<ul style="list-style-type: none"> • البث التلفزيوني لقنوات UHF • اتصالات الميكرو و ويف LOS Communication • الكثير من أنظمة UHF قابلة للنقل في الطائرات والسفن والغارات المتنقلة ، وتشاهد يوميا في سيارات الإسعاف والمطافئ و الشرطة
الترددات فائقة العلو .Super High Frequency	SHF	30-300 جيجا هيرتز .	موجات فضائية (حزم الرادار) .	<ul style="list-style-type: none"> • الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والميكرو و ويف . • الرادار وتطبيقات عسكرية أخرى .
الترددات بالغة العلو .Extremely High Frequency	EHF	300-3000 جيجا هيرتز .	موجات فضائية (حزم الرادار) .	<ul style="list-style-type: none"> • الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والميكرو و يف والرادار . • الساعات الذرية Atomic Clocks المستخدمة في التزامن بين الشبكات . • الجزء الأكبر من هذا النطاق مخصص للاستخدامات المستقبلية .

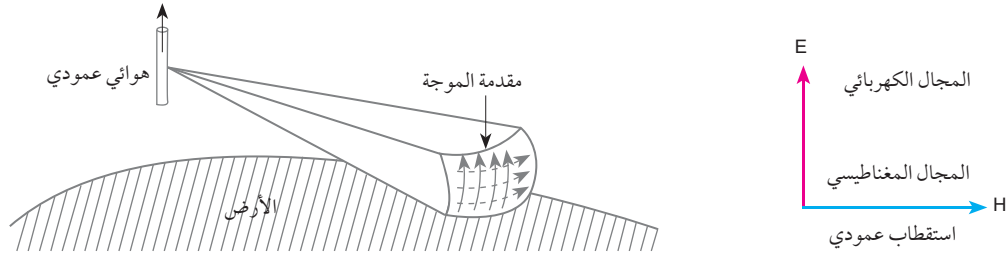
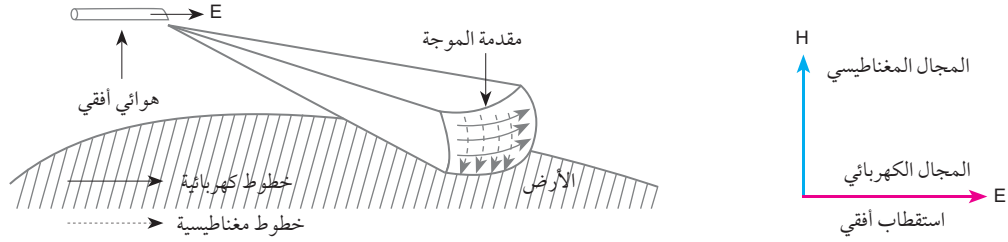
استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية (Polarization)

يعرّف الاستقطاب بأنه اتجاه المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية، ولكن، ماذا نستفيد من معرفة استقطاب الموجة؟

إن أفضل استقبال للموجة المرسله يحدث عندما يكون استقطاب هوائي الاستقبال مماثلاً لاستقطاب هوائي الإرسال. فمثلاً، في مجال الاستقبال التلفزيوني يركب هوائي الاستقبال أفقياً أو عمودياً بحسب استقطاب الإشارة المراد استقبالها. ولوقت قريب، فإن أغلب الأنظمة العالمية كانت تستخدم الاستقطاب الأفقي للبث التلفزيوني؛ نظراً للمزايا التي يتمتع بها إلى أن سمح أخيراً باستخدام الاستقطاب العمودي.

وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من الاستقطاب، هي: الاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري والاستقطاب البيضاوي. ١. **الاستقطاب الخطي**: وفيه يشكل المجال الكهربائي خطاً أثناء انتشار الموجة، وهناك حالتان من الاستقطاب الخطي، هما:

- **الاستقطاب الأفقي**: ونحصل عليه عندما يكون الهوائي (المجال الكهربائي) موازياً لسطح الأرض، ويمتاز بأنه أقل تأثراً بالتداخل والتشويش، وأكثر مقاومة لعوامل التوهين المختلفة.
- **الاستقطاب العمودي**: ونحصل عليه عندما يكون الهوائي (المجال الكهربائي) عمودياً على سطح الأرض. الشكل المبين أدناه يوضح أنواع الاستقطاب الخطي.

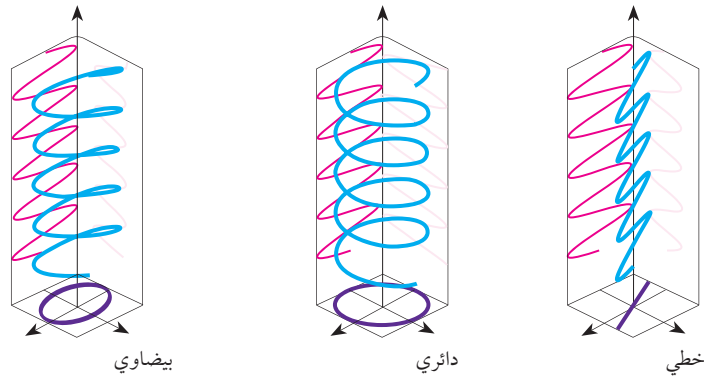


الشكل (١٥): الاستقطاب الخطي (الأفقي والعمودي)

٢. **الاستقطاب الدائري**: وفيه يشكل المجال الكهربائي دائرة أثناء انتشار الموجة، ويتغير الاستقطاب بشكل مستمر مع الزمن. يمكن الحصول على هذا النوع من الاستقطاب عندما يكون الهوائي ملفوفاً بشكل دائري.

٣. الاستقطاب البيضاوي: وفيه يرسم المجال الكهربائي شكلاً بيضاوياً أثناء انتشار الموجة .
ويظهر الشكل (16) أنواع الاستقطاب الثلاثة .

الشكل (١٦): أنواع الاستقطاب الثلاثة:
الخطي والدائري والبيضاوي



الهوائيات Antennas

يعدّ الهوائي من العناصر المهمة في نظام الاتصال اللاسلكي، فمهما بلغت دقة أجهزة الإرسال والاستقبال فإن للهوائي دوراً أساسياً لاغنى عنه .

يعرّف الهوائي بأنه أداة موصلة، تعمل على إشعاع أو التقاط الطاقة الكهرومغناطيسية، وبشكل عام فإن منظومة الهوائيات تتكون من :

١ . هوائي الإرسال : وهو الأداة التي تمكننا من إشعاع القدرة الكهربائية من جهاز الإرسال إلى الجو على شكل أمواج كهرومغناطيسية .

٢ . هوائي الاستقبال : وهو الأداة التي تمكننا من تحويل الأمواج الكهرومغناطيسية المنتشرة في الجو إلى قدرة كهربائية توجه إلى جهاز الاستقبال .

ومن المفيد معرفة أن مواصفات هوائي الإرسال تنطبق على هوائي الاستقبال أيضاً، حيث يمكن أن يستخدم الهوائي في عمليات الإرسال والاستقبال، كما هو الحال في كثير من هوائيات أنظمة الميكروويف وهوائيات أنظمة الاتصال الخليوية .

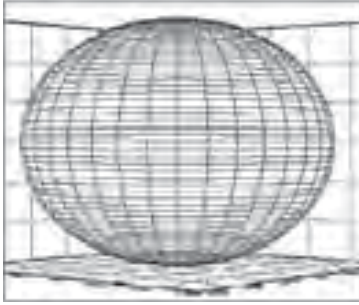
وقد يخطر في بالك أن تسأل عن الكيفية التي يتم بها إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية من الهوائي، وبشكل عام، يمكن القول: إن الإشعاع Radiation ينتج دائماً عن شحنات متسارعة . وعملياً يعزى الإشعاع إلى الإلكترونات المتسارعة، وحتى يمكن زيادة الإشعاع من الهوائي فإنه يلزم استخدام طريقة واحدة أو أكثر من الآتية :

١ . زيادة تردد التيار في الهوائي .

٢ . زيادة الطاقة الكهربائية للهوائي .

٣. تصميم الهوائي بطول يساوي نصف طول الموجة المراد إشعاعها $(\frac{\lambda}{2})$.

قبل التطرق إلى أهم خصائص الهوائيات ومواصفاتها العملية لا بد من تقديم شرح مبسط عن الهوائي القياسي (آيزوتروبك) Isotropic Antenna بالإضافة إلى وحدة الديسبل Decibel الشائعة الاستعمال :



الشكل (١٧) : مخطط إشعاع هوائي الآيزوتروبك

يعرّف هوائي الآيزوتروبك بأنه : هوائي نظري يعمل بنفس الكفاءة في جميع الاتجاهات ، ونموذج إشعاعه ذو شكل كروي Spherical ، كما في الشكل (17) وتكون شدة المجال Field Strength حول الهوائي متساوية .

عملياً : يستحيل بناء هوائي قياسي بهذه المواصفات ، ولكنه يستخدم كمرجع نظري للمقارنة مع أنظمة الهوائيات ، ولاسيما عند حساب كسب (Gain) الهوائي بوحدة الديسبل (dB) .

أما الديسبل Decibel فهو عبارة عن وحدة قياسية تستخدم لقياس الكسب Gain ، ويعبر رياضياً عن الديسبل بأنه : المقياس اللوغاريتمي للنسبة بين قيمتين ، ويكتب اختصاراً (dB) ، فمثلاً ، يمكن التعبير عن كسب القدرة لمكبر ما بوحدة الديسبل كالآتي :

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

خصائص الهوائيات Antenna Characteristics

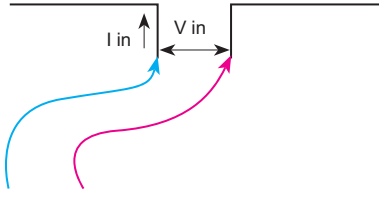
يوجد لكل هوائي عددٌ من الخصائص المهمة التي تميزه ، وتحدد مجال عمله ، وبشكل عام ، تشترك معظم الهوائيات في هذه الخصائص سواء أكانت هوائيات إرسال أو استقبال ، وسنركز في هذا البند على شرح هوائي نصف الموجة ، باعتباره الأساس لمعظم الهوائيات . ومن أهم هذه الخصائص ما يأتي :

الكسب Gain

يعرّف الكسب بأنه النسبة بين كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي في اتجاه معين إلى كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي القياسي عند نفس النقطة بافتراض أن الطاقة الداخلة إليهما متساوية . ويقاس كسب الهوائي بالديسبل (dB) .

ممانعة مدخل الهوائي Input Impedance

يعرّف مدخل الهوائي بأنه طرفاً توصيل الهوائي مع خط النقل . وتعرّف ممانعة مدخل الهوائي بأنها النسبة بين قيمة الجهد إلى قيمة التيار عند طرفي مدخل الهوائي . كما هو موضح في الشكل (18) .



الشكل (١٨): ممانعة مدخل هوائي

ويستفاد من معرفتها في تحديد الدارات اللازمة لتحقيق المواءمة Matching بين ممانعة الهوائي وممانعة خط النقل المتصل به عند اختلاف ممانعة الهوائي عن ممانعة خط النقل . يقصد بمواءمة الممانعة بين دارتين كهربائيتين : أن تكون ممانعة مخرج الدارة الأولى مساوية لممانعة مدخل الدارة الثانية ؛ ذلك لضمان انتقال أكبر قدر من الطاقة بينهما .

الاتجاهية Directivity

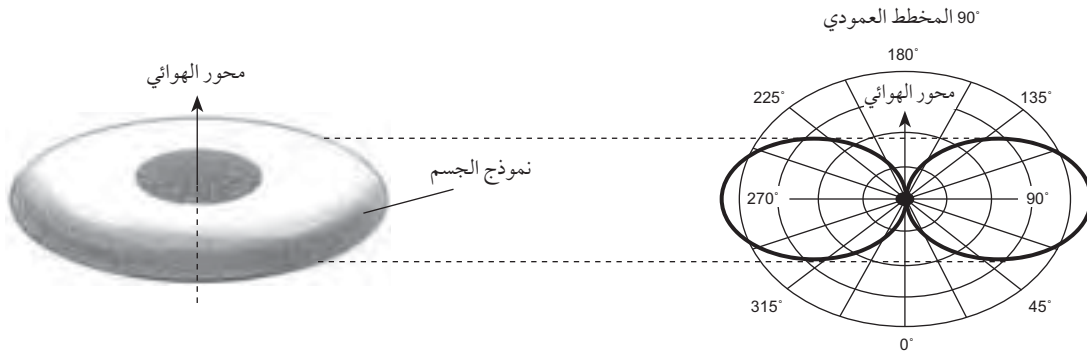


الشكل (١٩): هوائي غير موجه

ويقصد بها قدرة الهوائي على تركيز الطاقة المنبعثة منه في اتجاه معين أكثر من بقية الاتجاهات ، ويسمى الهوائي الذي يتمتع بهذه الخاصية بالهوائي الموجه للطاقة Directional Antenna ، وهناك هوائيات غير موجهة للطاقة Omnidirection Antenna كما في الشكل (١٩) حيث تبث طاقتها بشكل متساوٍ في جميع الاتجاهات ، ومن أمثلة ذلك ما يستخدم في بعض محطات البث الإذاعي .

مخطط الإشعاع Radiation Pattern

عبارة عن مخطط يوضح كيفية توزيع الطاقة الصادرة من الهوائي إلى الجو المحيط كما في الشكل (٢٠) ، وتكمن فائدة معرفة مخطط الإشعاع للهوائي في تحديد التطبيقات العملية لهذا الهوائي وفي كيفية توجيهه .



الشكل (٢٠): مخطط الإشعاع للهوائي ثنائي القطب

كفاءة الهوائي Antenna Efficiency

تعرف بأنها النسبة المئوية للقدرة المنبعثة من الهوائي P_r إلى القدرة الداخلة إليه P_{in}

$$\eta = \left(\frac{P_r}{P_{in}} \right) \times 100 \%$$

حيث : η : كفاءة الهوائي

Pin : القدرة الداخلة للهوائي بالواط

Pr : القدرة المنبعثة من الهوائي بالواط

مثال (٣): جهاز إرسال راديوي ذو قدرة تساوي (100) كيلواط في مخرجه، متصل بهوائي إرسال، احسب :

١ . القدرة المنبعثة من هوائي الإرسال .

٢ . كفاءة الهوائي .

إذا علمت بأن القدرة الضائعة في الهوائي تساوي (5) كيلواط .

الحل: ١ . القدرة المنبعثة (من الهوائي) Pr = القدرة الداخلة (للهوائي) Pin – القدرة الضائعة

$$5 - 100 =$$

$$95 = \text{كيلواط}$$

٢ . كفاءة الهوائي

$$\eta = \frac{\text{القدرة المنبعثة } P_r}{\text{القدرة الداخلة } P_{in}}$$

$$\eta = \frac{95}{100} = 95 \%$$

أبعاد الهوائي Antenna Dimension

يعتمد طول الهوائي على طول الموجة التي سوف يشعها أو يستقبلها وبالتالي على ترددها، بحيث يمكن القول انه كلما زاد تردد الإشارة التي يتعامل معها الهوائي قلّت أبعاد الهوائي، والعكس صحيح .

ولأجل بناء هوائي ذي كفاءة عالية في إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية فإن طوله يجب أن يكون من مضاعفات أرباع أو أنصاف الطول الموجي (λ) للإشارة المراد إشعاعها .

عادةً، فإن أقل طول ممكن (دون استخدام عناصر مساعدة) هو ربع طول الموجة (0.25λ)، ويعدّ هوائي نصف الموجة (0.5λ) من الهوائيات الشائعة جداً، حيث إنه الأساس الذي نشأت منه وتطورت معظم الأنواع الأخرى من الهوائيات .

يدعى طول الموجة المستخدم في حساب أطوال عناصر الهوائي بالطول الفعال (λ) وهو يساوي (0.95λ) .

حيث : λ : طول الموجة داخل الهوائي (الطول الفعّال) .

λ : طول الموجة في الفراغ الحر .

ويعود سبب هذا الانخفاض في طول الموجة داخل الهوائي إلى أن سرعتها داخل الهوائي هي أقل بحوالي 5% من سرعتها في الفراغ الحر .

أهم أنواع الهوائيات

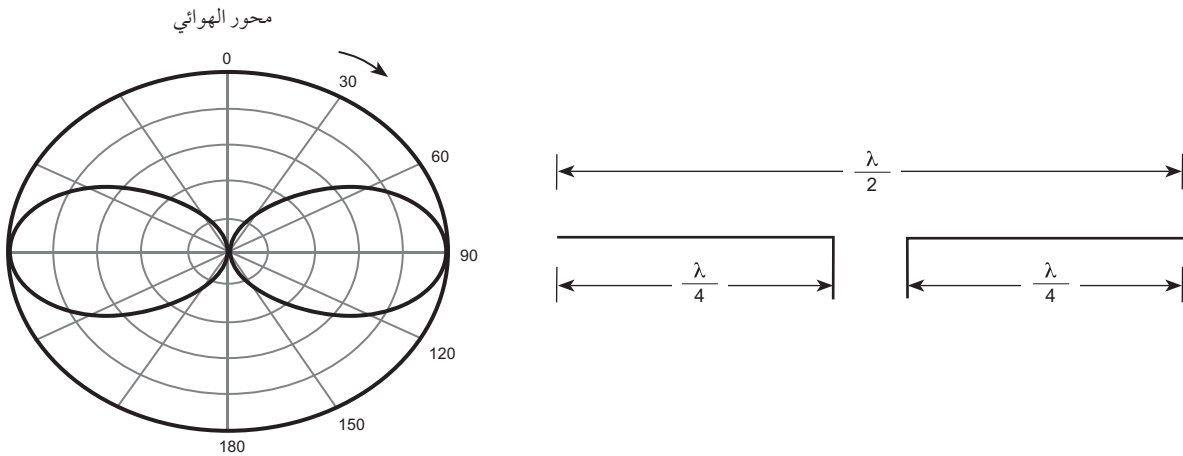
يستخدم في أنظمة الاتصالات اللاسلكية أنواع متعددة من الهوائيات ، بحيث يلائم كل هوائي التطبيق العملي المستهدف ، وسنعرض أهم أنواع الهوائيات المستخدمة مع التركيز على معرفة :

- ١ . اسم الهوائي وشكله .
- ٢ . الكسب .
- ٣ . المدى الترددي له .
- ٤ . الاستقطاب .
- ٥ . مخطط الإشعاع .
- ٦ . الاستخدام العملي .

هوائي نصف الموجة ثنائي القطب Half Wave Dipole Antenna

في أبسط أشكاله ، يتكون الهوائي ثنائي القطب من سلك معدني طوله نصف طول الموجة التي يشعها . كما هو مبين في الشكل (21) ، ويعدّ هذا الهوائي الأساس الذي انطلقت منه معظم الهوائيات الأخرى .

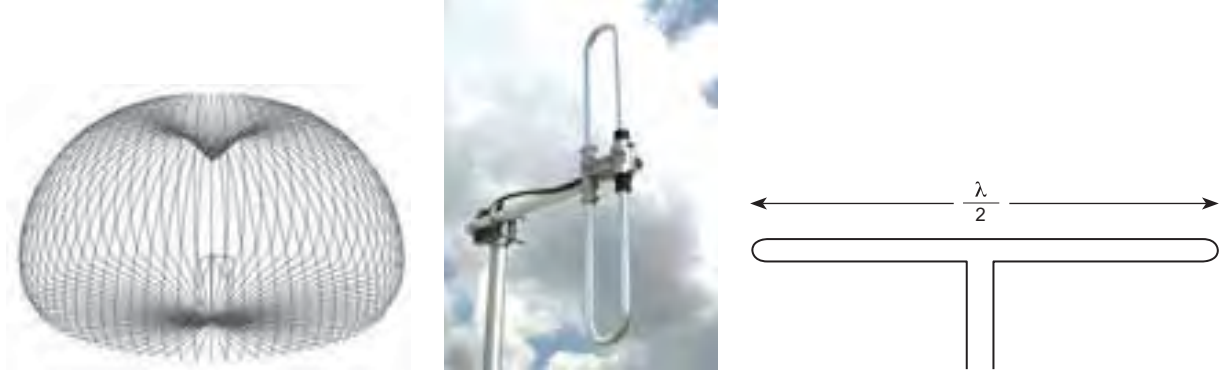
- المدى الترددي : (3 – 10000) ميغاهيرتز .
- الكسب : حوالي 2.5dB اعتماداً على ارتفاعه عن سطح الأرض .
- الاستقطاب : خطي Linear .
- مخطط الإشعاع : كما في الشكل (21) ، ويظهر المخطط أنه هوائي لا اتجاهي .
- الاستخدام العملي : يعدّ الأساس الذي تبنى منه أنواع كثيرة من الهوائيات ، وخاصةً في مجال الاستقبال التلفزيوني .



الشكل (٢١) : هوائي نصف الموجة ثنائي القطب ومخطط إشعاعه

هوائي ثنائي القطب المطوي Folded Dipole Antenna

يبين الشكل (22) الهوائي المطوي ، الذي يعد تطويراً لهوائي نصف الموجة ثنائي القطب ، حيث تم وصل القطبين معاً بوصلة طولها $(\frac{\lambda}{2})$ ، مما يجعله أقوى ميكانيكياً .



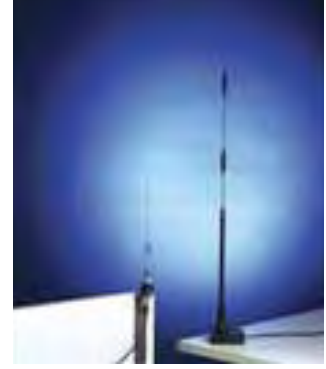
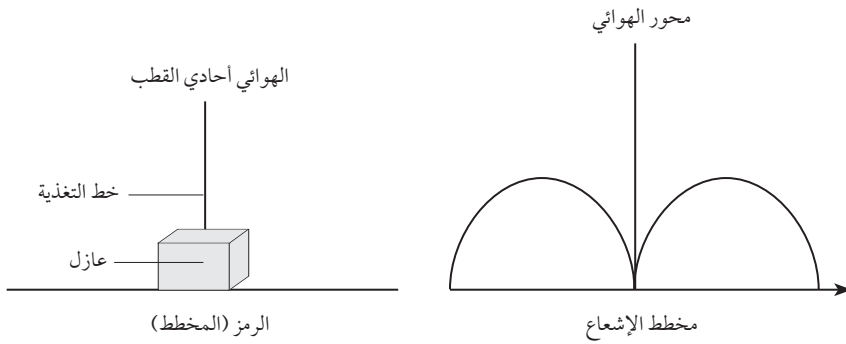
الشكل (٢٢): ثنائي القطب المطوي ومخطط إشعاعه

- المدى الترددي : (50 – 10000) ميغاهيرتز .
- الكسب : حوالي 2dB .
- الإستقطاب : خطي .
- مخطط الإشعاع : كما في الشكل (22) .
- الاستخدام العملي : في مجال الاستقبال التلفزيوني بشكل خاص ، حيث يتمتع بعرض نطاق ترددي كبير (Wide Bandwidth) .

الهوائي أحادي القطب Monopole Antenna

عادةً يبلغ طوله ربع طول الموجة المراد بثها ، وهو عبارة عن موصل يوضع فوق سطح الأرض ويعزل عنها ، ويعدّ هوائياً لا اتجاهياً ، فهو يشع موجاته في جميع الاتجاهات Omnidirectional انظر الشكل (23) .

- المدى الترددي : (10 – 10000) ميغاهيرتز .
- الكسب : حوالي 2.5dB .
- الإستقطاب : خطي .
- مخطط الإشعاع : كما هو في الشكل (23) .
- الاستخدام العملي : يستخدم بشكل رئيس للبث والاستقبال من جميع الاتجاهات ، كما في البث والاستقبال الإذاعي وهوائيات المركبة المتحركة .



شكل (٢٣): الهوائي أحادي القطب ومخطط إشعاعه

هوائي ياغي أودا Yagi – Uda Antenna

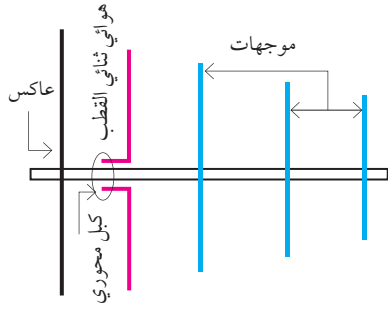
يدعى أيضاً بمصفوفة ياغي (على اسم مصممه الياباني)، وهو هوائي ثنائي القطب، أو هوائي مطوي Folded Dipole متصل بنظام من العواكس والموجهات، كما في الشكل (24):

العاكس: عنصر إضافي أطول قليلاً من ثنائي القطب، مصنوع من نفس مادة الهوائي، ويوضع خلف ثنائي القطب. يعمل العاكس على تقوية إشارة الهوائي في الاتجاه الأمامي، ويضعفها في الاتجاه العكسي؛ مما يزيد من كسبه.

الموجه: عنصر إضافي أقصر قليلاً من ثنائي القطب، مصنوع من نفس مادة الهوائي، ويوضع أمام ثنائي القطب بهدف تحسين الاتجاهية.

ومن الملاحظ أنه يمكن استخدام أكثر من موجه وعاكس لزيادة الاتجاهية والكسب للهوائي.

- المدى الترددي: (50 – 10000) ميغاهيرتز.
- الكسب: يتراوح ما بين (5dB - 20dB) اعتماداً على تصميم الهوائي وعدد الموجهات والعواكس.
- الاستقطاب: خطي.
- مخطط الإشعاع: كما هو في الشكل (24) ويعدّ هوائي ياغي من الهوائيات الاتجاهية كما يظهر من نمط إشعاعه.
- الاستخدام العملي: يعدّ هوائي ياغي من أكثر الهوائيات العملية انتشاراً، لاسيّما لاستقبال المحطات التلفزيونية على النطاقات الترددية VHF و UHF وإشارات FM أيضاً.

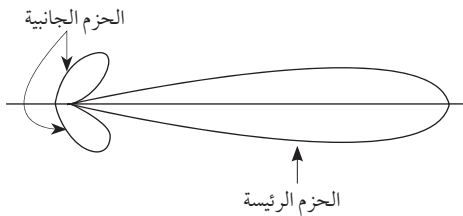


الشكل (٢٤): هوائي ياغي ومخطط إشعاعه

هوائي البوق Horn – Antenna

ويعدّ من هوائيات الميكروويف . الشكل (25) يبين نماذج متعددة من هوائي البوق بالإضافة إلى مخطط الإشعاع .

- المدى الترددي : نطاق عمل ترددي كبير (1 - 10) جيجا هيرتز .
- الكسب : ذو كسب عالٍ (10 - 20) ديسبل .
- الإستقطاب : خطي .
- مخطط الإشعاع : كما هو في الشكل (25) وتعتبر الاتجاهية لهذا الهوائي عالية اعتماداً على مساحة مقطع فوهة البوق وشكله .
- الاستخدام العملي : يستخدم هذا الهوائي بشكل أساسي في اتصالات الميكروويف ، حيث يتمتع بعدة مزايا كخفة وزنه ، وسهولة تركيبه على الأبراج .



الشكل (٢٥): صور لنماذج مختلفة من هوائي البوق ومخطط إشعاعه

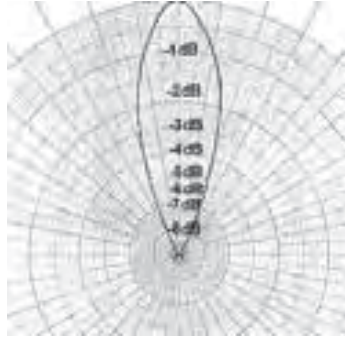
هوائي الصحن Dish (Parabolic) Antenna

سطح معدني مقعر (على شكل صحن)، يعمل على تجميع الأشعة في بؤرته، كما تفعل المرايا المقعرة.

- المدى الترددي: نطاق عمل ترددي كبير (1-10) جيجا هيرتز.
- الكسب: ذو كسب عالٍ (10-40) ديسبل اعتماداً على قطر الصحن المستخدم.
- الاستقطاب: يحدده استقطاب المغذي.
- مخطط الإشعاع: تكون حزمة إشعاعه مركزة وذات عرض ضيق كما يظهر من نمط إشعاعه في الشكل (26)
- الاستخدام العملي:

يستخدم هذا الهوائي بكثرة في مجال ترددات الميكروويف للتراسل بين شبكات الميكروويف، في اتصالات خط الرؤية، كما ينتشر استخدامه في الاتصالات الفضائية لاستقبال المحطات التلفازية عبر الأقمار الصناعية.

الشكل (٢٦): الهوائي
الصحني ومخطط إشعاعه

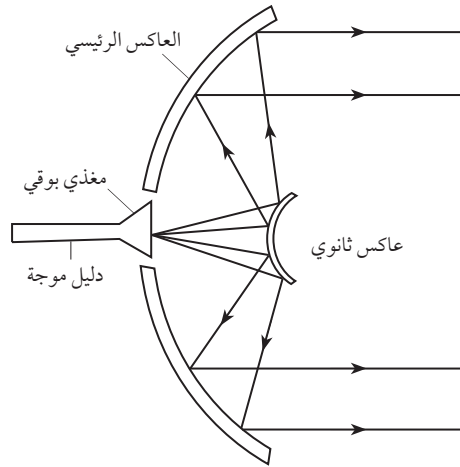


هوائي كاسجرين Cassegrain Antenna

يعد هذا الهوائي من الهوائيات الصحنية، إلا أنه يمتاز باستخدامه عاكسين، حيث يوضع العاكس الثانوي المحدب أمام المغذي البوقي، ليقوم بعكس الموجات إلى العاكس الصحني الرئيسي كما هو موضح في الشكل (27).

- المدى الترددي: نطاق عمل ترددي كبير (1-10) جيجا هيرتز.
- الكسب: ذو كسب عالٍ (10-40) ديسبل اعتماداً على قطر الصحن المستخدم.
- الاستقطاب: يحدده استقطاب المغذي.
- مخطط الإشعاع: يمكن الحصول على حزمة إشعاع ضيقة جداً من هوائي أصغر بكثير في أبعاده من الهوائيات التي تستخدم العاكس البوقي أو العاكس فقط.
- الاستخدام العملي: يستخدم في المحطات الأرضية للاتصال مع الأقمار الاصطناعية.

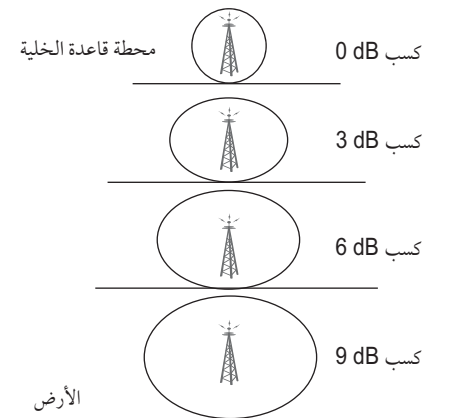
الشكل (٢٧): هوائي كاسجرين .



الهوائي القطاعي Sector Antenna

وهو عبارة عن هوائي موجه Directional يركز إشعاع واستقبال الإشارات باتجاه واحد يغطي قطاعاً محدداً زاويته 120° أو 90° أو 60° . أما شكله فيشبه لوحة مستطيلة بطول 4 قدم وعرض 1 قدم تقريباً كما هو مبين في الشكل (28).

- المدى الترددي : نطاق ترددات النظام الخليوي المستخدم (GSM مثلاً).
- الكسب : ذو كسب عالٍ مقارنة بالهوائي اللا اتجاهي ، وعادةً يتم التحكم بمستوى الكسب اعتماداً على مساحة الخلية المراد تغطيتها ، فمثلاً يستخدم مستوى كسب (3dB) في المدن لتغطية مساحة خلية صغيرة ، وعند الرغبة بزيادة مساحة الخلية يتم زيادة مستوى الكسب ، كما هو موضح في الشكل (29) :

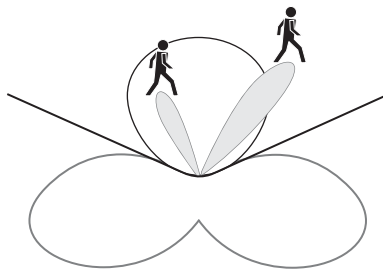


الشكل (٢٩) : العلاقة بين كسب الهوائي ومساحة الخلية

الشكل (٢٨) : هوائي قطاعي Sector Antenna



شكل (٣٠) : برج اتصال خلوي بثلاثة هوائيات قطاعية



الشكل (٣١) : نمط الإشعاع في الهوائيات الذكية

■ الاستقطاب : خطي .

■ مخطط الإشعاع : يكون بشكل حزمة إشعاع موجه إلى قطاع (120°) ، ويتم تغطية كامل الخلية بثلاث حزم إشعاعية .

■ الاستخدام العملي : يستخدم الهوائي القطاعي في مركز الخلية بأنظمة الاتصالات الخليوية حيث توضع الهوائيات القطاعية Sector (عادةً ثلاثة هوائيات) على جوانب البرج لتغطية كامل مساحة الخلية كما هو مبين في الشكل (30) .

الهوائيات الذكية Smart Antennas

ظهر حديثاً ما يعرف بالهوائيات الذكية (Smart Antennas) والتي تعدّ من أنواع هوائيات مركز الخلية Base Station بأنظمة الاتصالات الخليوية .

تقوم فكرة عمل الهوائيات الذكية على استعمال نمط إشعاع غير ثابت من هوائي مركز الخلية (البرج) ، حيث تستخدم تقنية المسح متعدد الأشعة Multibeam Scanning ، كما يتضح من الشكل (٣١) :

يكشف هذا النوع من الهوائيات زاوية وصول الإشارة القادمة ثم يعيد توجيه شعاع الهوائي لخدمة المستخدم .

ويعتمد عمل هذه الهوائيات على نظام محوسب ، لمعالجة الإشارة والتحكم في توجيهها من خلال ربطها بالهوائيات في قاعدة الاتصال الخلوي ، وأهم مزايا هذا النظام هي :

١ . زيادة سعة الشبكات اللاسلكية الرقمية ، عن طريق إعادة استخدام نفس الترددات لآخرين في نفس المنطقة ؛ مما يوفر استخداماً أفضل للطيف الراديوي .

٢ . تحسين الأداء بتوفير سرعة أكبر لنقل البيانات .

٣ . تحسين نوعية الاتصال بشكل ملحوظ ، حيث يمكن زيادة كسب الهوائي في الاتجاه المرغوب ، وبخسوف الوقت تخفيض الإشعاع في اتجاهات التداخل Interferes .

وعلى الرغم من المزايا أعلاه ، فإن الهوائيات الذكية تعاني من بعض العيوب ، مثل :

١ . تعقيد أنظمة الإرسال والاستقبال Transceiver ، وبالتالي ازدياد التكلفة .

٢ . إدارة عملية التراسل الراديوي أصبحت أكثر صعوبة .

٣ . يقل معدل البيانات بحركة الشخص المستقبل .

ومن المفيد معرفة أن هذه الهوائيات من الأنواع الحديثة ، وهناك توجهات لتوسيع استخدامها ودمجها في مختلف الأنظمة اللاسلكية نظراً للمزايا التي تتمتع بها .

نشاط (٣):

استعن بالمراجع المختصة وبشبكة الإنترنت وكتب بإيجاز عن الهوائيات الآتية :
الهوائي الحلقي ، الهوائي الحلزوني ، الهوائي اللوغارتمي ، الهوائيات الشريطية ، هوائيات أجهزة الاستقبال الإذاعي .

الأسئلة

- س١ : مم تتكون الموجة الكهرومغناطيسية ؟ وما هي أهم خصائصها ؟
- س٢ : اشرح (باختصار) طرق انتشار الموجات الكهرومغناطيسية .
- س٣ : بين مزايا وعيوب الاتصال باستخدام :
أ . الموجات الأرضية السطحية . ب . الموجات السماوية .
- س٤ : وُضع هوائي استقبال ارتفاعه (25 m) عن سطح الأرض على بعد (35 km) من هوائي إرسال ارتفاعه (36 m) عن سطح الأرض . تحقق من وجود خط رؤية بين الهوائيين .
- س٥ : اشرح (بإيجاز) الطبقات الرئيسة في الغلاف الجوي المحيط بالأرض .
- س٦ : اذكر أهم الوظائف التي تؤديها كل طبقة من طبقات الأيونوسفير .
- س٧ : ماهو تأثير الليل والنهار والفصول الأربعة وزاوية الشمس على طبقات الأيونوسفير ؟ وما تأثير ذلك على عمليات الإتصال ؟
- س٨ : ما هي العوامل المؤثرة في انعكاس الموجات عن الأيونوسفير ؟
- س٩ : عرّف الآتية :
أ . زاوية الإشعاع الحرجة ب . التردد الحرج
ج . مسافة القفزة د . منطقة التفويت
- س١٠ : بين المدى الترددي ، ونمط الانتشار ، والتطبيق العملي ، لحزم الترددات الآتية :
LF ، HF ، UHF ، EHF
- س١١ : اذكر أنواع الاستقطاب ، وبين ما الفائدة من معرفة استقطاب الموجة ؟
- س١٢ : وضح بالرسم الاستقطاب الأفقي والاستقطاب العمودي .

س١٣ : عرّف الآتية :

أ . الهوائي . ب . الهوائي القياسي (Isotropic) . ج . الديسبل (dB) .

س١٤ : اذكر أهم الخصائص التي تميز الهوائي وتحدد مجال عمله .

س١٥ : علّل بما لا يزيد عن سطرين :

أ . تستخدم دارات تحقيق المواءمة بين ممانعة الهوائي وممانعة خط النقل المتصل به في حال اختلفت الممانعتان .

ب . عند حساب أبعاد الهوائي ، يستخدم الطول الفعّال للموجة (λ) والذي يساوي (0.95λ) .

س١٦ : ما هو الاستخدام العملي لكل من الهوائيات الآتية :

أ . هوائي ياغي أودا . ب . الهوائي الصحنى .

ج . الهوائي أحادي القطب . د . الهوائي القطاعى .

س١٧ : ارسم هوائي ياغي أودا وارسم نمط إشعاعه ، ثم اشرح عمل عناصره المختلفة .

س١٨ : اشرح فكرة عمل الهوائيات الذكية ، وعدد المزايا التي تتمتع بها .

س١٩ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . تنقسم الموجات الفضائية إلى قسمين : مباشرة ومنعكسة عن سطح الأرض .

٢ . إن طبقة الستراتوسفير هي الطبقة المناخية التي تحدث بها جميع الظواهر الجوية .

٣ . تستخدم الترددات المنخفضة جداً في الاتصالات البحرية لمسافات بعيدة .

٤ . يعدّ الهوائي القطاعى Sector Antenna من الهوائيات الموجهة .

٥ . يعدّ الهوائي الصحنى أحد الهوائيات ذات الكسب المنخفض .

س٢٠ : اختر الإجابة الصحيحة مما يأتي :

١ . أي طبقات الغلاف الجوي يحدث بها معظم العوامل الجوية :

أ . الأيونوسفير . ب . الستراتوسفير .

ج . التروبوسفير . د . الهيدروسفير .

٢ . أي من العوامل التالية تؤثر في انعكاس الموجات عن طبقة الأيونوسفير :

أ . كثافة التأين في الطبقة . ب . زاوية البث .

ج . تردد الموجة المرسل . د . جميع ما ذكر .

٣ . ما الذي يحدد أبعاد الهوائي :

أ . قدرة المرسل . ب . المسافة التي سيتم الإرسال إليها .

ج . تردد التشغيل . د . لا شئ مما ذكر .

- ٤ . من عيوب الهوائيات الذكية :
 أ . التعقيد وزيادة التكلفة .
 ب . تحتاج إلى أبراج فائقة العلو .
 ج . تزيد من مشاكل التداخل .
 د . ذات كسب منخفض .
- ٥ . أي من الآتية يحدد استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية :
 أ . المجال المغناطيسي H .
 ب . المجال الكهربائي E .
 ج . زاوية الانتشار .
 د . لا شيء مما ذكر .
- ٦ . يعدّ هوائي البوق :
 أ . هوائياً لا اتجاهي .
 ب . ذا كسب منخفض .
 ج . من هوائيات اتصالات الميكروويف .
 د . لا شيء مما ذكر .
- ٧ . من مميزات هوائي ياغي أودا أنه :
 أ . ذو كسب عالٍ .
 ب . هوائي اتجاهي .
 ج . يستخدم لمدى واسع من الترددات .
 د . جميع ما ذكر صحيح .
- ٨ . لزيادة الإشعاع من الهوائي نلجأ إلى :
 أ . زيادة تردد الإشارة .
 ب . زيادة الطاقة للهوائي .
 ج . زيادة طول الهوائي إلى $(\frac{\lambda}{2})$.
 د . جميع ما ذكر صحيح .
- ٩ . إن طول الموجة التي ترددها (100M HZ) يساوي :
 أ . 3 أمتار .
 ب . 30 أمتار .
 ج . 300 أمتار .
 د . 0.3 أمتار .

خطوط النقل

Transmission Lines

٣



خطوط النقل

تعدّ خطوط النقل إحدى المكونات الرئيسة لأي نظام اتصالات ، وقد بدأ الاهتمام بهامند اختراع التلغراف في منتصف القرن التاسع عشر .

يمكن استخدام الموجات الكهرومغناطيسية وأنظمة الهوائيات المختلفة لنقل الإشارات (المعلومات) لمسافات طويلة ولكن بكفاءة منخفضة .

في أنظمة الاتصالات ، نحتاج غالباً لنقل الإشارات بكفاءة عالية ، الأمر الذي يمكن تحقيقه باستخدام خطوط النقل (Transmission Lines) .

يطلق مصطلح (خط النقل) على المسار الفيزيائي الواصل بين المرسل والمستقبل .

يوجد أنواع متعددة من خطوط النقل (الوسائط الموجهة Guided Media) مثل :

الخطوط السلكية الثنائية ، الكوابل المحورية ، الألياف البصرية .

أهداف الوحدة

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة ، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن :

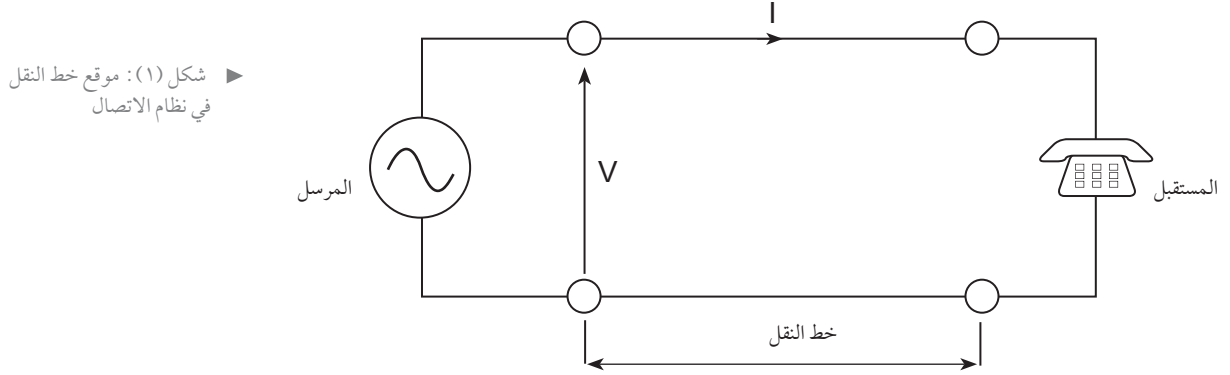
- تعرّف الخطوط السلكية الثنائية Two – Wire Lines .
- تعرّف الكوابل المحورية Coaxial Cables .
- توضح المقصود بمواءمة الممانعات Impedance Matching .
- تشرح مفهوم الموجات المستقرة Standing Waves وأهميتها .
- تعرّف خطوط الألياف البصرية Optical Fibers .

ثوابت وأساسيات خطوط النقل المعدنية

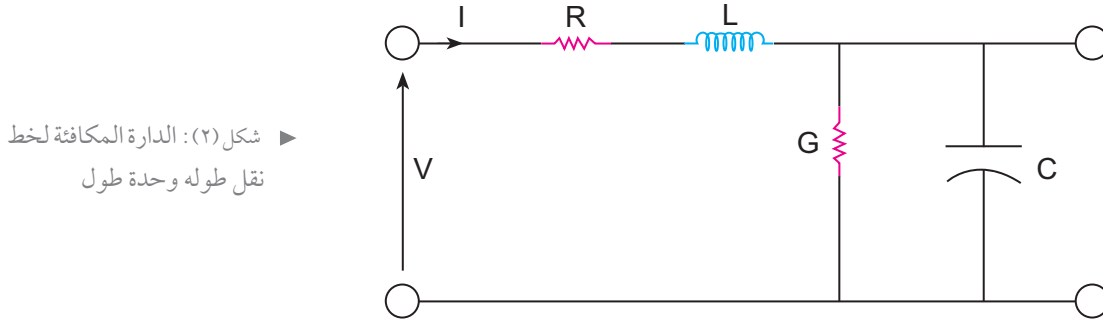
الوظيفة الرئيسة لخط النقل في نظام الاتصال هي نقل الإشارات من المرسل (المصدر) إلى المستقبل بأقل قدرٍ من الضياع في الطاقة . ويعتمد تحقق هذا الغرض على الخواص الفيزيائية والكهربائية لخط النقل سنناقش في الجزء الأول من هذه الوحدة أهم ثوابت و أساسيات خطوط النقل المعدنية ، مع التذكّر دائماً أن هذه الأمور تشمل جميع خطوط النقل المعدنية (الثنائية والمحورية) .

أهم الثوابت والأساسيات

١ . يعدّ خط النقل جزءاً من الدارة الكهربائية في نظام الاتصال ، حيث إن توصيله بين المرسل (مصدر الطاقة) والمستقبل (جهاز هاتف مثلاً) يؤدي إلى اكتمال الدارة الكهربائية كما هو موضح في الشكل (1) .



٢ . لكل خط نقل مقاومة (R) وحثية (L) وسعة (C) وموصلية (G) كما في الشكل (2) .



حيث : R : مقاومة خط النقل لوحدة الطول .

L : حثية خط النقل لوحدة الطول .

C : سعة خط النقل لوحدة الطول .

G : موصلية خط النقل لوحدة الطول .

وتكون هذه الثوابت (Constants) موزعة على طول خط النقل وتعتمد قيمها على :

- طول خط النقل ، حيث تكون العلاقة طردية بين طول الخط وقيم جميع الثوابت (G, C, L, R).
- سمك الأسلاك الناقلة ، ويكون تأثيرها عكسياً على قيم المقاومة R والحثية L.
- المسافة بين الأسلاك ، ويكون تأثيرها عكسياً على قيم السعة C والموصلية G.
- نوعية المعدن المصنوع منه الأسلاك .
- المادة العازلة بين الأسلاك .

نشاط (١):

بمساعدة معلم المادة، ناقش مع زملائك تأثير نوعية المعدن والمادة العازلة بين الأسلاك على قيم ثوابت خط النقل .

٣ . يضيع جزء من الطاقة المنقولة عبر خط النقل فيما يسمى بمفاقد خط النقل (Line Losses) والتي تشمل على :

- مفاقد نحاسية (Copper Losses) تضيع على شكل حرارة بسبب المقاومة R.
- مفاقد العازل الكهربائي (Dielectric Losses) وتنتج من تأثير الحرارة على المادة العازلة بين موصلات خط النقل .
- مفاقد الإشعاع (Radiation Losses) وتنتج عن إشعاع جزء من المجال المغناطيسي حول الموصل إلى محيطه ، ولاسيما عند ازدياد التردد .

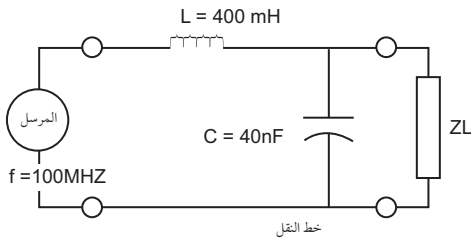
٤ . عندما تكون الإشارات المنقولة ذات ترددات عالية فإن تأثير الحثية والسعة يكون أكبر بكثير من تأثير المقاومة والموصلية في إضعاف الإشارات المنقولة .

٥ . يوجد لكل خط نقل ممانعة مميزة (Z_0) Characteristic Impedance تحدد العلاقة بين الفولتية والتيار عند أي نقطة على خط النقل . ويمكن حسابها عند الترددات العالية من العلاقة .

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega) = \frac{V}{I}$$

حيث : L : حثية خط النقل بالهنري .

C : سعة خط النقل بالفاراد .



شكل (٣):

مثال (١): احسب قيمة الممانعة المميزة لخط النقل

المبين في الشكل (3).

الحل: بما أن تردد الإشارات المرسله عالٍ جداً، يمكن إهمال تأثير المقاومة R والموصلية G إذن :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{400 \times 10^{-6}}{40 \times 10^{-9}}}$$

$$Z_0 = \sqrt{10000} = 100 \quad (\Omega)$$

خطوط النقل السلكية الثنائية Two – Wires Lines

يعرّف خط النقل السلكي الثنائي بأنه : زوجٌ من الأسلاك المعدنية بينهما مادة عازلة . وغالباً ما تصنع الأسلاك من النحاس أو الألومنيوم أو أية مادة جيدة التوصيل للكهرباء . أما المادة العازلة فغالباً ما تكون من البلاستيك .
يوجد أشكالٌ متعددة من الخطوط السلكية الثنائية نذكر منها الخط المتوازي ، وخط الزوج المجدول ، وخط النقل السلكي الثنائي المحمي .

الخط المتوازي Parallel Line

يمكن بناء أشكال متعددة من الخطوط المتوازية ، مثل :

١ . الخط المفتوح Two-Wire Open Line : وقد استخدم قديماً في خطوط التلغراف وفي الخطوط الهاتفية الخارجية (للمناطق البعيدة) ، أما اليوم فاستخدامه نادر .

٢ . الخط ذو السلكين المتوازيين الشريطي Two-Wire Ribbon (Twin Lead) Line

■ الشكل : كما هو مبين في الشكل (4) .

■ التركيب : يتكون هذا الخط من سلكين متوازيين تفصل بينهما مادة عازلة من البولي إثيلين ، أو أية مادة بلاستيكية ؛ بهدف تثبيتهما وحمايتهما من المؤثرات الخارجية .

■ الممانعة المميزة Z_0 : تصل إلى 300 أوم .

■ الاستخدام : استخدم (بشكل رئيس) لنقل الإشارات التلفزيونية .

■ أهم المزايا : الكفاءة العالية والسعر المنخفض .

■ أهم العيوب : يتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية الناتجة عن إشارات التشويش .



شكل (٤) : الخط ذو السلكين المتوازيين الشريطي

خط الزوج المجدول Twisted Pair Line



شكل (٥): خط الزوج المجدول

- الشكل : كما هو مبين في الشكل (5) .
- التركيب : عبارة عن سلكين معزولين ومجدولين معاً كما في الشكل (5) .
- الممانعة المميزة Z_0 : من (75) إلى (150) أوماً .
- الاستخدام : يستخدم هذا الخط بشكل خاص عند العمل في بيئة مشوشة (Noisy Environment) .
- أهم المزايا : لا يتأثر بإشارات التشويش ، حيث يؤدي التفاف السلكين إلى إلغاء أية فولتية تشويش تتولد في أحد السلكين من قبل فولتية التشويش المتولدة في السلك الآخر .
- أهم العيوب : يعاني هذا الخط من ارتفاع فقد العازلية Dielectric Loss عند ازدياد تردد الإشارات المنقولة .

خط النقل ذو السلكين المحمي Two-Wire Shielded Line



- الشكل : كما هو مبين في الشكل (6) .
- التركيب : يتكون هذا الخط من سلكين موضوعين في مادة عازلة (بولي إيثيلين) يحيط بها شبكة نحاسية تعمل كحماية للسلكين ، في حين يتم تغطية الشبكة النحاسية بغلاف خارجي للحماية . انظر الشكل (6) .
- الممانعة المميزة Z_0 : ما بين (50 – 100) أوم .
- الاستخدام : يستخدم للدارات والأجهزة عالية الحساسية عندما يزداد تأثير التشويش الخارجي .
- أهم المزايا : لا يتأثر بإشارات التشويش ، حيث يتم تفريغ فولتية التشويش إلى الأرض عن طريق الشبكة النحاسية التي يتم وصلها بالأرضي .
- أهم العيوب : إضعافه للإشارة المنقولة عند استخدامه لمسافة طويلة بسبب التوهين العالي الذي يسببه .

مزايا الخطوط السلكية الثنائية

- بشكل عام ، يمكن تلخيص أهم مزايا الخطوط السلكية الثنائية بالآتي :
- انخفاض ثمنها مقارنةً بالأنواع الأخرى من خطوط النقل .
- سهولة التمديد والإنشاء ؛ فهي لا تحتاج إلى مهارات فنية عالية للتعامل معها .

عيوب الخطوط السلوكية الثنائية

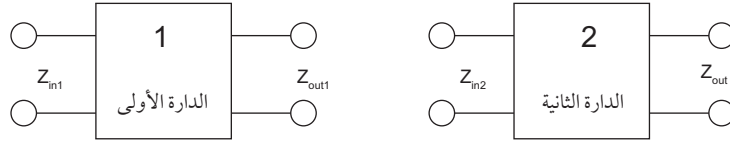
- صغر النطاق الترددي لها، وبالتالي انخفاض سرعة الإرسال .
- عالية الفقد؛ مما يؤدي إلى زيادة عدد المحطات المعيدة، وبالتالي ارتفاع التكلفة عند الإرسال لمسافات بعيدة .
- معظمها يتأثر بالتداخلات الكهرومغناطيسية من مصادر التشويش المختلفة .
- إمكانية التنصت عليها، مما يقلل من درجة الأمان والسرية في نقل المعلومات .

موائمة الممانعات Impedance Matching

عند ربط دارتين كهربائيتين معاً كما في الشكل (7)، فإنه يجب تحقيق أكبر قدر ممكن من الموائمة في الممانعة بين الدارتين .

بمعنى أن تكون ممانعة مخرج الدارة الأولى (Z_{out1}) مساوية لممانعة مدخل الدارة الثانية (Z_{in2}) والهدف من تحقيق الموائمة هو : (ضمان انتقال أكبر قدر ممكن من الطاقة من الدارة الأولى إلى الدارة الثانية) .

► شكل (٧): مخطط صندوق يوضح موائمة الممانعة بين دارتين .



وفي حال عدم تحقق الموائمة بين الدارات (أو الأجهزة) الكهربائية المختلفة، يجري استخدام دارات خاصة لتحقيق ذلك، كاستخدام محول موائمة كما هو موضح في المثال الآتي :



شكل (٨): استخدام المحولات في عملية الموائمة .

كما يتضح من الشكل أعلاه ، فقد تم استخدام محولي مواءمة :

الأولى : بين ممانعة الهوائي 300 أوم وممانعة خط النقل 75 أوماً .

الثانية : بين ممانعة خط النقل (75) أوماً وممانعة مدخل جهاز التلفاز (300) أوم ، وبذلك يتم انتقال أعظم قوة للإشارة من الهوائي إلى جهاز التلفاز .

مثال (٢): إذا كانت قدرة الخرج في جهاز إرسال تساوي 100 واط ، وكان مقدار الطاقة المرتدة (Reflected Powe) يساوي 20 واط تضيع جميعها على شكل طاقة حرارية في خط النقل ، فاحسب : مقدار القدرة الفعلية التي سيتم توصيلها لهوائي الإرسال .

الحل: القدرة الداخلة للهوائي = القدرة الواردة (للهوائي) - القدرة المرتدة من الهوائي

$$20 - 100 =$$

$$= 80 \text{ واط}$$

الموجات المستقرة Standing Waves

عرفنا مما سبق ضرورة تحقيق المواءمة في الممانعة بين خط النقل من جهة والدارات المغذية (كالمرسل) أو المستقبل (كالهوائي) من جهةٍ أخرى .

ولكن ماذا يحدث إذا اختلفت قيمة الممانعة المميزة لخط النقل Z_0 عن قيمة ممانعة الحمل Z_L .

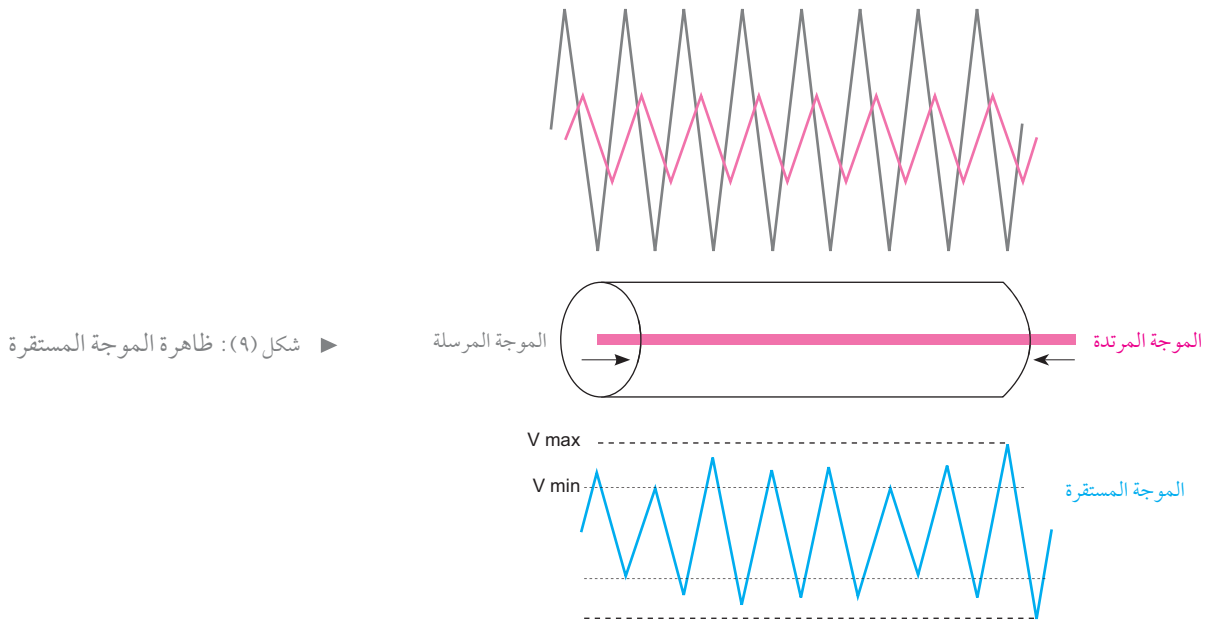
أي إن : $(Z_L \neq Z_0)$

في هذه الحالة فإن جزءاً من الطاقة المرسله عبر الخط يترد عائداً إلى المصدر ، بحيث يتكون نوعان من الموجات على طول خط النقل ، هما :

■ الموجات المرسله (من المرسل إلى الحمل Load) .

■ الموجات المرتدة (من الحمل إلى المرسل) .

إن تداخل هذه الموجات بعضهما ببعض يؤدي إلى ظهور الموجات المستقرة Standing Waves والتي يمكن تعريفها بأنها : محصلة التداخل بين الموجات المرسله والموجات المرتدة . ولا تلبث هذه الطاقة العائدة أن تضيع على شكل مفايد حرارية في مقاومة الخط ، أو في مقاومة مخرج المرسل (المصدر) . الشكل (9) يوضح ظاهرة الموجة المستقرة .



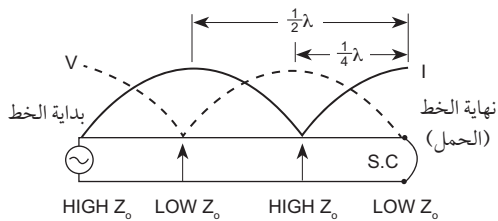
تعتمد قيمة الطاقة المرتدة إلى المصدر على مقدار الفرق بين ممانعة الحمل Z_L والممانعة المميزة لخط النقل Z_0 ، وبناءً على ذلك سنقوم بدراسة الحالات الآتية :

١ . عندما يكون الحمل مفتوحاً (Open Load) $[Z_L = \infty]$

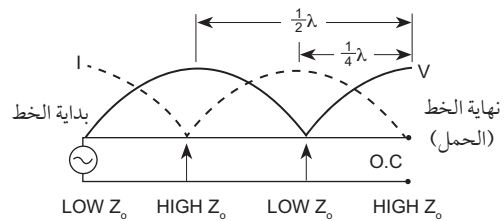
وهنا يحدث ارتداد كامل للموجات المرسلية من المصدر؛ لأنه لا يوجد حمل لاستهلاك هذه الطاقة، وتكون الفولتية عند نهاية الخط أعظم ما يمكن، والتيار يساوي صفراً، أما الموجة المستقرة فتكون أكبر ما يمكن. الشكل (10) يوضح هذه الحالة.

٢ . عندما يكون الحمل مقصوراً (Short Circuited Load) $[Z_L = 0]$

كما في الحالة السابقة، يحدث أيضاً ارتداد كامل للموجات على طول خط النقل، غير أن الفولتية في نهاية خط النقل تساوي صفراً، أما التيار فيكون أكبر ما يمكن، وكذلك الموجة المستقرة تكون أكبر ما يمكن. الشكل (11) يوضح هذه الحالة.



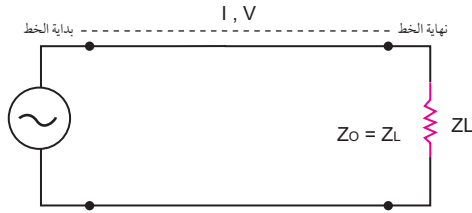
شكل (١١): حالة خط نقل مقصور S.C



شكل (١٠): حالة خط نقل مفتوح O.C

٣ . عندما تكون ممانعة الحمل مساوية للممانعة المميزة لخط النقل $[Z_L = Z_0]$

في هذه الحالة يحصل أكبر انتقال للطاقة من خط النقل للحمل ، ولا يرتد أي جزء منها ، كما ينعدم تواجد الموجات المستقرة على خط النقل . انظر الشكل (12) .



شکل (١٢): حالة الخط عندما $Z_L = Z_0$

مما سبق ، نستنتج أن تكون الموجات المستقرة على خط النقل مرتبطة بالفرق بين قيمتي Z_0 و Z_L وأن النسبة بين أعظم فولتية V_{max} وأقل فولتية V_{min} للموجة المستقرة تدعى بنسبة فولتية الموجة المستقرة أو معامل الموجة المستقرة VSWR .

$$VSWR = \left| \frac{V_{max}}{V_{min}} \right| \quad \text{حيث : (لا تؤخذ القطبية بعين الاعتبار)}$$

ويستفاد من معرفة معامل الموجة المستقرة VSWR في قياس كفاءة نقل الطاقة عبر خط النقل ، وهنا يمكن تسجيل الملاحظات العملية الآتية :

- عندما $VSWR = 1$ ، يكون نقل الطاقة عبر خط النقل تاماً Perfect (وهي حالة مثالية وليست عملية)
- عندما $1.5 \geq VSWR > 1$ تشير هذه الحالة إلى كفاءة كبيرة في نقل الطاقة .
- عندما $VSWR > 2$ تعدّ هذه الحالة مؤشراً على انخفاض كفاءة نقل الطاقة Poor Matching .

مثال (٣): استخدم خط نقل في أحد أنظمة الاتصالات للربط بين مرسل ومستقبل ، وعندما تم قياس مقدار الفولتية العظمى للموجة المستقرة في الخط كانت قيمتها 10 فولتات ، أما القيمة الصغرى لفولتية الموجة المستقرة فكانت تساوي 3 فولتات .

١ . احسب قيمة معامل الموجة المستقرة VSWR لخط النقل المستخدم .

٢ . بين هل هذا الخط موافق Matched أم لا؟

$$\text{الحل:} \quad 1. \quad VSWR = \left| \frac{V_{max}}{V_{min}} \right| = \frac{10}{3} = 3.33$$

٢ . بما أن قيمة معامل الموجة المستقرة للخط المستخدم (3.33) أكبر من (2)

إذن ، نستنتج بأن الخط المستخدم غير موافق .

معامل الارتداد Reflection Factor

يعد معامل الارتداد من الخصائص المميزة لخط النقل ويستخدم لقياس كفاءة خط النقل (عملية نقل الطاقة) بحيث أنه كلما ازدادت قيمة معامل الارتداد دلّ ذلك على انخفاض كفاءة النقل (بسبب عدم موافقة خط النقل مع الحمل) والعكس صحيح . ويعرّف بأنه :

النسبة بين القيمة العظمى للموجة المرتدة V_R والقيمة العظمى للموجة المرسلية V_T ويرمز إليه بالرمز K_R

$$K_R = \frac{V_R}{V_T} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \dots\dots\dots 1$$

حيث : K_R : معامل الارتداد، وعادةً ما يعبر عنه كنسبة مئوية .

Z_L : ممانعة الحمل

Z_0 : الممانعة المميزة لخط النقل .

وإذا كانت قيمة VSWR معروفة فيمكن حساب قيمة K_R من العلاقة الآتية :

$$K_R = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \dots\dots\dots 2$$

وبالعكس ، فإذا كانت قيمة K_R معروفة فإن :

$$VSWR = \frac{1+K_R}{1-K_R} \dots\dots\dots 3$$

نشاط (٢):

باستخدام العلاقتين 1، 3 أثبت أن : $VSWR = \frac{Z_L}{Z_0}$

مثال (٤): باستخدام خط نقل ذي ممانعة مميزة تساوي ($Z_0 = 75 \Omega$) لإيصال الطاقة إلى حمل مقداره (100Ω).

١ . إحسب مقدار معامل الموجة المستقرة VSWR للخط المستخدم .

٢ . علّق على كفاءة الخط بحسب قيمة VSWR المحسوبة في الخطوة السابقة .

$$VSWR = \frac{1+K_R}{1-K_R} \dots\dots\dots ١ \quad \text{الحل:}$$

$$K_R = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{100 - 75}{100 + 75} = 0.142 \quad \text{لكن:}$$

وبالتعويض في المعادلة أعلاه نحصل على

$$VSWR = \frac{1+K_R}{1-K_R} = \frac{1 + 0.143}{1 - 0.143} = 1.33$$

٢ . بما أن قيمة VSWR للخط تساوي (1.33)، وهي أقل من (1.5)، فإن ذلك يشير إلى كفاءة عالية

في نقل الطاقة إلى الحمل باستخدام هذا الخط .

الكوابل المحورية Coaxial Cables

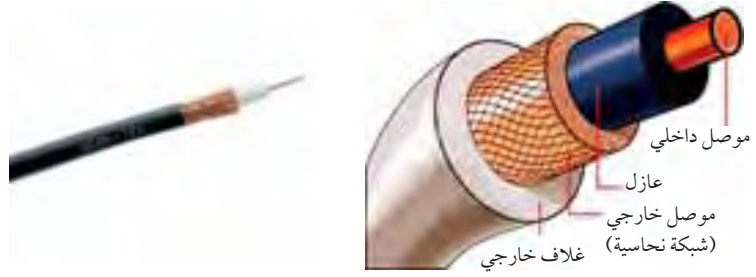
تعد الكوابل المحورية من أنواع خطوط النقل الشائعة الاستخدام حيث تم تصميمها للتخلص من السليبيات التي تعاني منها الخطوط الثنائية ، ولسد الحاجة إلى استعمال خط نقل ذي كفاءة عالية وتكلفة معقولة .

التركيب الأساسي

يتركب الكابل المحوري Coaxial Cable كما هو موضح في الشكل (13) من :

- ١ . موصل داخلي لنقل الإشارات .
- ٢ . موصل خارجي أسطواني الشكل (شبكة نحاسية) Copper Mesh يعمل كحماية Shield للموصل الداخلي من التداخلات الكهرومغناطيسية .
- ٣ . مادة عازلة Dielectric تفصل بين الموصلين .
- ٤ . غلاف خارجي عازل لحماية الكابل من المؤثرات الخارجية .

► شكل (١٣) : تركيب الكابل المحوري



الاستخدامات

هناك أنواع عديدة من الكوابل المحورية ، حيث يستخدم كل نوع بحسب الغاية من استخدامه ومكان الاستخدام ، وحتى فترة قريبة كانت الكوابل المحورية تستخدم على نطاق واسع في شبكات الاتصالات الهاتفية للربط بين المقاسم المختلفة قبل أن يتم استبدالها بكوابل الألياف البصرية ذات الكفاءة العالية ، ومع ذلك فما زالت الكوابل المحورية تستخدم في العديد من التطبيقات العملية ، مثل :

- ١ . نقل الإشارات التلفازية من الهوائيات إلى أجهزة التلفاز .
- ٢ . الكوابل المخصصة لغايات توصيل وفحص الإشارات ، كتلك المستخدمة مع أجهزة راسم الإشارة Oscilloscope ومولد الإشارة وغيرها .
- ٣ . يستخدم في محطات الميكروويف لنقل الإشارات من أجهزة الإرسال إلى أدلة الموجة Wave Guides على أبراج الميكروويف العالية .
- ٤ . في تمديدات شبكات تلفاز الكوابل المنتشرة في العديد من الدول .

غالباً ما تستخدم الكوابل المحورية نوع RG والتي تشمل أنواعاً أخرى، مثل :
 أ . (RG-58) و (RG-8) بممانعة مميزة تساوي 50 أوماً، والتي يكثر استخدامها في أنظمة الاتصالات المختلفة .

ب . (RG-59) و (RG-6) بممانعة مميزة تساوي 75 أوم، وتستخدم غالباً لنقل الإشارات التلفزيونية من الهوائيات إلى أجهزة التلفاز .

الجدول (1) يبين أشهر الأنواع المستخدمة بالإضافة إلى معلومات عن أهم خصائصها الفنية :

نوع الكابل المحوري Coax. Type	الحجم Size	الفقد عند الترددات العالية Loss at HF 100MHZ	الفقد عند الترددات فوق العالية Loss at UHF 400 MHZ
RG – 6	كبير	2.3dB	4.7dB
RG – 59	متوسط	2.9dB	5.9dB
RG – 58U	صغير	4.3dB	9.4dB
RG – 8X	متوسط	3.7dB	8dB
RG – 8U	كبير	1.9dB	4.1dB
RG – 213	كبير	1.9dB	4.5dB
Hardline خط صلب	كبير	0.5dB	1.5dB

الجدول (١) : أنواع متعددة من الكوابل المحورية .

أهم مزايا وعيوب الكوابل المحورية

يمكن تلخيص أهم المزايا بما يأتي :

- ذات نطاق ترددي واسع يصل إلى (1GHz) في الأنواع العادية وإلى (1.5GHz) في النوع الصلب (Hard Line Coaxial)؛ مما يزيد من كمية المعلومات المنقولة .
- انعدام الفقد الناتج من الإشعاع ؛ لأن الموجات الكهرومغناطيسية تنحصر داخل الكابل .
- لا تتأثر أو تتداخل بالمجالات الكهرومغناطيسية المجاورة (بسبب وجود الشبكة الحامية والتي يتم تأريضها) ؛ مما يجعلها مناسبة للاستخدام في الأماكن المشوشة .
- سهولة التركيب .
- ذات عمر تشغيلي طويل وبالتالي فهي اقتصادية .

أما أهم عيوب الكوابل المحورية فأهمها :

- ذات فقد عال نسبياً، ينتج عن مقاومة الموصل والمادة العازلة بين الموصلين، ويزداد هذا الفقد بازدياد التردد .
- إمكانياتها في تحمل القدرات العالية محدودة .

الألياف البصرية Optical Fiber

إن الثورة الهائلة في مجال الاتصالات وتبادل المعلومات والزيادة المطردة في الاتصالات الهاتفية والمرئية بالإضافة إلى الاستخدام الواسع للإنترنت فرض واقعاً جديداً أدى إلى زيادة الطلب على أنظمة الاتصالات ذات السعة الكبيرة والاقتصادية العالية .

كما درست في بداية هذه الوحدة ، فإن خطوط النقل التقليدية تبقى ذات سعات محدودة بالنسبة للحاجات المتزايدة لشبكات الاتصال ، أما أنظمة الميكرووف الأرضية و الاتصالات الفضائية فلم تقدم إلا حلاً جزئياً لهذه المشكلة .



شكل (٢٤) : الألياف البصرية

من هنا فقد نشأت الحاجة إلى استخدام شبكات اتصال ذات سعة نقل بيانات هائلة جداً واقتصادية في نفس الوقت ، الأمر الذي أمكن تحقيقه باستخدام الألياف البصرية التي يبدأ نطاق تردداتها من 10^{12} هيرتز ولغاية 10^{16} هيرتز .

تعرف الألياف البصرية بأنها : خيوط رقيقة وشفافة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك على شكل شعيرات متينة ، تقوم بنقل المعلومات (بعد تحويلها إلى ضوء) من المرسل إلى المستقبل . كما في الشكل (24) .

مزايا وعيوب الألياف البصرية

تمتاز الألياف البصرية بالعديد من المزايا المهمة خصوصاً إذا ما قورنت بخطوط النقل التقليدية (السلكية الثنائية والمحورية) ، ومن أهم هذه المزايا ما يأتي :

- سعتها العالية جداً ، بسبب اتساع النطاق عند الترددات الضوئية ؛ مما يعني أن كمّاً هائلاً من المعلومات يمكن إرساله عبر هذه الألياف وبسرعة عالية جداً .
- فقد الطاقة خلال عملية التوصيل قليل جداً ، وبالتالي فلا حاجة للمحطات المعيدة إلا على مسافة تزيد عن (50Km) مقابل (5Km) للأسلاك النحاسية .



شكل (٢٥) : شبكة ألياف بصرية قيد الإنشاء

- مناعة تامة من التداخلات الكهرومغناطيسية ، وسبب هذه المناعة أن الليف البصري غير ناقل للكهرباء كما أنه لا يشع الطاقة ، وبالتالي فهو لا يسبب تداخلاً مع أنظمة الاتصال الأخرى .
- خفيفة الوزن وغير سمكية ؛ مما يسهل عمليات التخزين والنقل والتمديد والتركيب ، أنظر الشكل (25) .

- لا يمكن التنصت عليها كمثيلاتها المعدنية ؛ مما يجعلها مرغوبة لاستخدامات معينة (الاتصالات العسكرية مثلاً) .

أما العيوب فأهمها :

- الكلفة الابتدائية العالية عند تركيب النظام البصري .
- الحاجة إلى كوادرات فنية عالية التدريب خلال عمليات تمديد الكابلات وصيانة الشبكة والمعدات .

الاستخدامات العملية للألياف البصرية



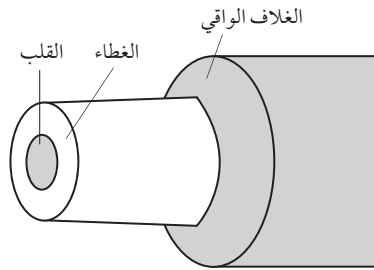
شكل (٢٦) : تمديدات لشبكة ألياف بصرية في أحد المواقع

تعدّ الألياف البصرية من المكونات الحديثة نسبياً في شبكات الاتصال، ومع ذلك فقد انتشر استخدامها بشكل واسع في السنوات الأخيرة نظراً للمزايا العديدة التي تتمتع بها، حيث يكثر استخدامها في :

- ١ . شبكات الاتصال بعيدة المدى، حيث تم تمديد ملايين الكيلومترات من خطوط الألياف البصرية في معظم دول العالم .
- ٢ . الوصل بين المقاسم في الشبكات الهاتفية . انظر الشكل (26) .
- ٣ . نقل البيانات في شبكات الحاسوب و الإنترنت .
- ٤ . شبكات تلفاز الكوابل المنتشرة في العديد من الدول .
- ٥ . الاتصالات العسكرية لاستحالة التنصت عليها .

تركيب الألياف البصرية

يتكون الليف البصري بشكل أساسي، وكما يتضح من الشكل (27) من :



شكل (٢٧) : مكونات الليف البصري

- ١ . القلب Core : يمثل المسار الداخلي الذي ينتقل من خلاله الضوء .
- ٢ . الغطاء Cladding : هو المادة الخارجية التي تحيط بالقلب، ويكون أقل كثافة من مادة القلب، حيث يعمل على عكس الضوء باستمرار ليظل داخل القلب .

- ٣ . الغلاف Buffer Coating : هو عادةً من مادة بلاستيكية لحماية الليف من المؤثرات الخارجية .

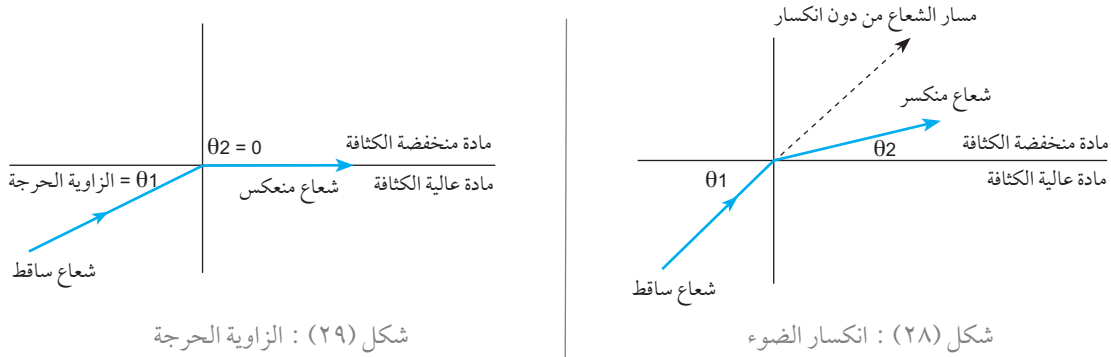
انتشار الضوء عبر الليف البصري

تعدّ الألياف البصرية المكون الأساسي لكوابل الألياف البصرية المستخدمة في أنظمة الاتصال، حيث يستخدم الضوء كحاملٍ للمعلومات Carrier .

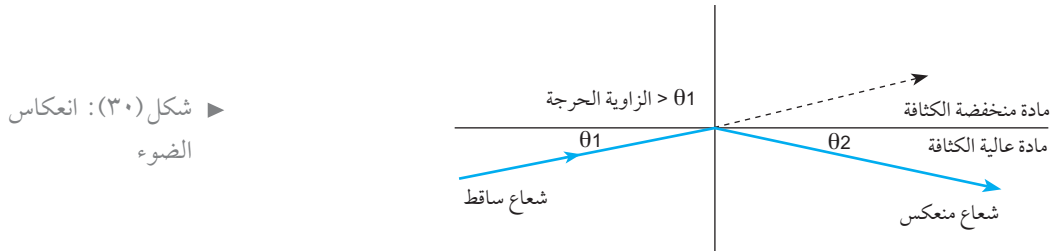
لشرح مبدأ عمل الليف البصري لا بد من التطرق إلى بعض الحقائق الخاصة بانتشار الضوء :

- ينتشر الضوء في الفضاء الحر بسرعه البالغة (3×10^8) متر/ ثانية، وتنخفض سرعته عند انتقاله في المواد الأكثر كثافة من الفضاء .

- عند انتقال الضوء من مادة عالية الكثافة إلى مادة منخفضة الكثافة يحدث له انكسار Refraction بحيث يتجه إلى المادة عالية الكثافة ، كما هو مبين في الشكل (28) .
- تعرّف الزاوية الحرجة بأنها : زاوية السقوط (θ_1) التي تصبح عندها زاوية الانكسار (θ_2) مساوية للصفر ، كما هو مبين في الشكل (29) .



- إذا قلت زاوية السقوط (θ_1) عن قيمة الزاوية الحرجة يحدث انعكاس Reflection للضوء ولا يخترق المادة ذات الكثافة المنخفضة ، كما هو مبين في الشكل (30) .



نستنتج مما سبق أن انتشار الضوء عبر الألياف البصرية يعتمد على مبدأ الانعكاس الكلي الداخلي للضوء الضوئي والذي نحصل عليه بإرسال الضوء بزاوية أصغر من الزاوية الحرجة .

التوهين في الألياف البصرية

بشكل عام فإن التوهين ينتج عن الفقد Loss ، وهو في الألياف البصرية أقل بكثير منه في الأنواع الأخرى من خطوط النقل ، ومع ذلك فلا بد من دراسة الأسباب التي تؤدي إلى الفقد ، وبالتالي توهين الإشارة الضوئية المنقولة نظراً للتأثير السلبي على سعة النطاق الترددي ، وبالتالي تحديد سرعة ومسافة الإرسال .

أما أهم أنواع الفقد في الليف فهي

- ١ . فقد الامتصاص Absorption Loss : يحدث بسبب بعض الشوائب القليلة التي تمتص الضوء وتحوله إلى حرارة . بشكل مشابه للفقد الناتج عن مرور تيار كهربائي في سلك نحاسي .

٢ . فقد التناثر Scattering Loss : يحدث بسبب طبيعة تصنيع الألياف البصرية لتصبح أليافاً طويلة ، حيث تسبب عملية الشد لهذه الألياف ظهور أجزاء غير منتظمة لا يمكن ملاحظتها (ميكروسكوبية) تبقى في الليف البصري وتسبب تناثر الضوء باتجاهات مختلفة وإلى خارج الغطاء أيضاً .

٣ . فقد انتشار النبضة Pulse Spreading Loss : يحدث هذا الفقد بسبب الفارق الزمني في انتشار أشعة الضوء التي تسير في مسارات مختلفة .

٤ . فقد تناثر اللون أو تناثر طول الموجة : يحدث بسبب اختلاف أطوال موجات الضوء التي يشعها الشائ الضوئي LED عند مدخل الليف ؛ مما يؤثر على سرعة هذه الموجات وزمن وصولها ، وبالتالي إلى تشوهها .

٥ . فقد الإشعاع Radiation Loss : يحدث هذا الفقد بسبب الانحناءات الصغيرة والالتواءات في الليف .

٦ . فقد المزوجة Coupling Loss : يمكن لهذا الفقد أن يحدث عند الوصلات الآتية :

- وصلة مصدر الضوء بالليف البصري في جهة الإرسال .
- وصلة الليف البصري بالآخر .
- وصلة الليف البصري بكاشف الضوء في جهة الاستقبال .

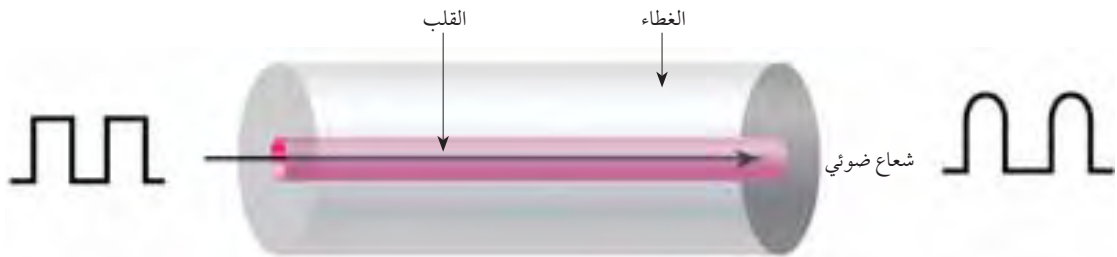
أنواع الألياف البصرية

يوجد العديد من أنواع الألياف البصرية بحسب المعيار المستخدم للمقارنة ، وبشكل عام توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الألياف البصرية ، هي :

- ١ . الليف ذو النمط المفرد ومعامل الانكسار الخطوي Single Mode Step-Index Fiber
- ٢ . الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار الخطوي Multimode Step-Index Fiber
- ٣ . الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار المتدرج Multimode Graded Index Fiber

الليف ذو النمط الوحيد ومعامل الانكسار الخطوي

سمي بهذا الاسم ؛ لأن هناك مساراً واحداً للضوء على طول الكابل كما هو مبين في الشكل (31) وتكون الأشعة الضوئية متوازية أثناء انتقالها من بداية الليف البصري إلى نهايته .



شكل (٣١) : مسار الضوء في الليف البصري ذي النمط الوحيد ومعامل الانكسار الخطوي

كما يتضح من الشكل (31) يوجد لهذا الليف قلب Core ذو قطر صغير جداً (0.05 إلى 0.1 من قطر الغطاء)، ويكون معامل انكسار مادة القلب أكبر من معامل انكسار مادة الغطاء، وتكون كل منهما ثابتة.

أهم مزايا هذا النوع :

- لا يحدث تشوهات للإشارة الضوئية المنقولة ؛ لأن كل الأشعة المنتشرة على طول الليف تمر في المسار نفسه وتستغرق نفس الزمن للوصول .
- اتساع المجال الترددي وبالتالي ازدياد السرعة في إرسال المعلومات .
- ومن المفيد معرفة أن شركة الاتصالات الفلسطينية تستخدم هذا النوع من الألياف .

أما أهم العيوب فهي :

- تكلفة إنتاج هذا النوع عالية لصعوبة الإنتاج .
- صعوبة ربط مصدر الضوء إلى هذا الليف بسبب القطر الصغير جداً للقلب .
- يجب استخدام مصدر ضوئي عالي التوجيه كالليزر (Laser) لإدخال الضوء في الليف .

الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار الخطوي



شكل (٣٢) : مسار الشعاع في الليف البصري ذي النمط المتعدد ومعامل الانكسار الخطوي

وقد سمي بهذا الاسم ؛ لأن هناك أكثر من مسار للضوء على طول الليف البصري كما في الشكل (32). كما يتضح من الشكل (32) فإن قطر القلب يبلغ (0.4 تقريباً) من قطر الغطاء ، ويكون معامل انكسار مادة القلب أكبر من معامل انكسار مادة الغطاء مع ثبات قيمة كل منهما .

أهم مزايا هذا النوع :

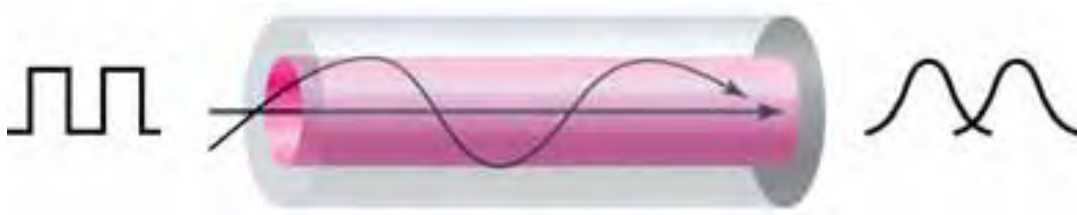
- سهولة الإنتاج ، وبالتالي فإن تكلفته غير مرتفعة .
- سهولة إدخال وإخراج الضوء من هذا الليف ؛ لأن فتحة إلى مصدر الضوء كبيرة .
- ومن المفيد معرفة أن هذا النوع مفضل للاستخدام في شبكات الحاسوب والشبكات الداخلية .

أما أهم العيوب فهي :

- يحدث تشويه للإشارات الضوئية المنقولة ؛ إذ يؤدي تعدد المسارات إلى حدوث فوارق كبيرة في أزمنة انتشارها ووصولها .
- عرض النطاق الترددي وبالتالي سرعة إرسال المعلومات أقل مما هو متوفر في الأنواع الأخرى من الألياف .

الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار المتدرج

في هذا النوع يوجد أكثر من مسار للضوء ، ولكن مادة الليف تصنع بكثافة متغيرة ، وبالتالي معامل انكسار غير ثابت يتدرّج من قيمة كبيرة عند المركز إلى قيمة أصغر عند حافة الغطاء ، ويؤدي ذلك إلى انحناء مسار الضوء باستمرار ، كما هو مبين في الشكل (33) .

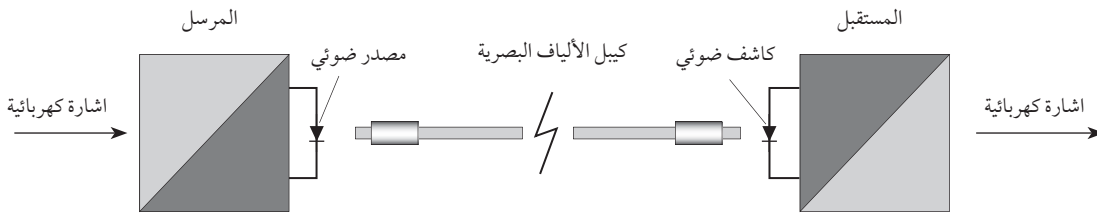


الشكل (٣٣) : مسار الشعاع الضوئي في الليف ذي النمط المتعدد ومعامل الانكسار المتدرج

كما يتضح من الشكل (33) فإن قطر القلب يبلغ (0.4 تقريباً) من قطر الغطاء ، ولا يوجد لهذا النوع مزايا أو عيوب خاصة به حيث يعدّ هذا الليف وسطاً بين النوعين السابقين .

نظام الاتصال البصري Optical Communication System

يتكون نظام الاتصال البصري ، كما هو مبين في الشكل (34) من ثلاثة أجزاء رئيسية ، هي :



شكل (٣٤) : نظام الاتصال البصري

١. المرسل البصري (الضوئي) Optical Transmitter

يكون الجزء الأساسي به هو المصدر الضوئي الذي يحول الإشارة الكهربائية المدخلة (إشارة المعلومات) إلى إشارة ضوئية . وتعدّ الثنائيات والترانزستورات المشعة للضوء بالإضافة إلى الليزر أهم هذه المصادر . لإرسال إشارات تلفازية أو هاتفية (مثلاً) لا بد من تضمين هذه الإشارات قبل نقلها . حيث يتم تضمين الإشارة الضوئية بوساطة إشارة المعلومات التماثلية أو الرقمية .

٢. الليف البصري The Fiber – Optic

هو الذي يقوم بتوصيل الإشارة الضوئية من المرسل إلى المستقبل . ويشمل الأنواع التي درستها سابقاً .

٣. المستقبل البصري Optical Receiver

هو الجزء الذي يستقبل الإشارة الضوئية ، ويقوم بكشفها وتحويلها إلى إشارة كهربائية ترسل إلى المستخدم لتظهر على شاشة التلفاز أو جهاز الهاتف (مثلاً) .

ولدراسة نظام الاتصال البصري بمزيدٍ من التفصيل انظر الشكل (35) الذي يبين مكونات كلٍّ من المرسل والمستقبل البصريين .



شكل (٣٥) : مكونات المرسل والمستقبل البصريين

المرسل البصري ويتكون من :

- ملائم (تماثلي - رقمي) : يستخدم لضبط النظام لاستقبال نوعية محدّدة من الإشارات (تماثلية أو رقمية) وليس الاثنان معاً .
- مبدل جهد لتيار : يقوم بتحويل جهد الإشارات الداخلة إلى تيار مكافئ ومناسب لتشغيل مصدر الضوء .
- مصدر ضوئي : وهو عادةً أحد النوعين الآتين :
 - ١ . ثنائي مشع للضوء LED .
 - ٢ . ثنائي ليزر حقني ILD .
- قارن ضوئي : وهو أداة ميكانيكية لربط المصدر الضوئي بالليف البصري وإيصال الضوء .

المستقبل البصري ويتكون من :

- قارن ضوئي .
- كاشف ضوئي : وهو عادةً أحد الأنواع الآتية :

١ . ثنائي ضوئي Photo Diode .

٢ . ثنائي (P-I-N) الضوئي .

٣ . ثنائي APD الضوئي .

ILD Injection Lazer Diode
PIN Positive- Intrinsic- Negative
APD Avalanche Photo Diode

- إن جميع الشناتيات أعلاه تحول الضوء إلى تيار ، لذا لا بد من وجود مبدل تيار إلى جهد .
- مبدل التيار إلى جهد : يحول تغيرات تيار الكاشف إلى تغيرات في جهد إشارة المخرج .
 - ملائم (تمائلي - رقمي) : يستخدم لضبط الإشارات الخارجة من النظام البصري (تمائلية أو رقمية) ، ويجب أن يكون متوافقاً في الضبط مع الملائم ال (تماثلي - رقمي) في وحدة الإرسال .

الأسئلة

- س ١ : بين بالرسم الثوابت التي تحتويها وحدة طول من خط النقل .
- س ٢ : وضح العوامل التي تعتمد عليها قيم ثوابت خط النقل .
- س ٣ : اذكر أنواع المفاقد Losses في خط النقل .
- س ٤ : قارن بين الخط ذي السلكين المتوازيين الشريطي وخط النقل ذي السلكين المحميين من حيث :
- التركيب .
 - الممانعة المميزة .
 - الاستخدام .
- س ٥ : عدد أهم مزايا وعيوب الخطوط السلكية الشنائية .
- س ٦ : عرف الآتية :
- الممانعة المميزة Z_0 .
 - مواءمة الممانعات .
 - الموجات المستقرة .
 - معامل الارتداد K_R .
- س ٧ : استخدم خط نقل ذي ممانعة مميزة تساوي ($Z_0 = 50 \Omega$) لإيصال الطاقة إلى حمل مقداره ($Z_L = 50 \Omega$) . المطلوب :
- احسب قيمة معامل الموجة المستقرة VSWR للخط المستخدم .
 - احسب قيمة معامل الارتداد K_R لنفس الخط .
 - علّق على كفاءة خط النقل بحسب قيم VSWR و K_R المحسوبتين أعلاه .
- س ٨ : أعد حل مثال (4) باستخدام صيغة أخرى لحساب VSWR .
- س ٩ : ما هي المكونات الرئيسة للكيبل المحوري ؟
- س ١٠ : عدد أهم الاستخدامات العملية للكوابل المحورية .
- س ١١ : أذكر أربعاً من أهم مزايا استخدام الألياف البصرية في أنظمة الإتصال .
- س ١٢ : وضح مستعيناً بالرسم تركيب الألياف البصرية .

س ١٣ : ما المقصود بالآتية :

- الزاوية الحرجة .
 - فقد الانتشار النبضة .
 - القارن الضوئي في المرسل البصري .
 - فقد الامتصاص .
- س ١٤ : لماذا سمي الليف ذو النمط الوحيد وعامل الانكسار الخطوي بهذا الاسم؟ وضح إجابتك بالرسم .
- س ١٥ : اذكر أهم مزايا وعيوب الليف ذي النمط المتعدد وعامل الانكسار الخطوي .
- س ١٦ : أرسم مخططاً صندوقياً يبين مكونات المرسل والمستقبل البصريين .
- س ١٧ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

- ١ . تنتج مفايد الإشعاع نتيجةً لإشعاع جزء من المجال المغناطيسي حول الموصل إلى محيطه .
- ٢ . يستفاد من معرفة معامل الموجة المستقرة VSWR في قياس كفاءة نقل الطاقة عبر خط النقل .
- ٣ . تعرّف ظاهرة تأثير السطح بأنها ميل الشحنات الكهربائية ذات الترددات المنخفضة إلى السريان على السطح الخارجي للموصل .
- ٤ . من مزايا الألياف البصرية مناعتها التامة ضد التداخلات الكهرومغناطيسية .
- ٥ . لكي يحدث انعكاس للضوء داخل الليف البصري ، لا بد من إرسال الضوء بزاوية تساوي الزاوية الحرجة .

س ١٨ : اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الآتية :

- ١ . إن وظيفة خط النقل في نظام الاتصال هي :
 - أ . نقل الإشارات من المستقبل إلى المرسل .
 - ب . نقل الإشارات بأكبر قدر ممكن من الضياع في الطاقة .
 - ج . نقل الإشارات من المرسل إلى المستقبل بأقل قدر من الضياع في الطاقة .
 - د . لا شيء مما ذكر .
- ٢ . يستخدم خط الزوج المجدول :
 - أ . عند العمل في بيئة غير مشوشة .
 - ب . لنقل إشارات التلفاز بشكل خاص .
 - ج . للربط بسبب متانته .
 - د . عند العمل في بيئة مشوشة .
- ٣ . الهدف من تحقيق المواءمة في الممانعة بين دارتين كهربائيتين هو :
 - أ . ضمان انتقال أكبر قدر من الطاقة بينهما .
 - ب . ضمان الحصول على أكبر توهين ممكن .
 - ج . ضمان انعدام التشويش في الدارتين .
 - د . جميع ما ذكر صحيح .

- ٤ . في حال عدم وجود مواءمة في الممانعة بين دارتين كهربائيتين تحدث ظاهرة :
- أ . الموجات المرسلية .
 ب . الموجات المرتدة .
 ج . الموجات المستقرة .
 د . الموجات السماوية .
- ٥ . في خط النقل ، وعندما يكون الحمل مقصوراً ، يحدث :
- أ . لا شيء .
 ب . انتقال كامل للموجات على طول خط النقل .
 ج . ازدياد للفلوتية في نهاية خط النقل .
 د . ارتداد كامل للموجات على طول خط النقل .
- ٦ . في خط النقل ، عندما تكون $VSWR > 2$ يدل ذلك على :
- أ . انخفاض كفاءة النقل .
 ب . كفاءة كبيرة في نقل الطاقة .
 ج . خط نقل مثالي .
 د . لا شيء مما ذكر .
- ٧ . تستخدم الكوابل المحورية ذات الممانعة المميزة (75Ω) في :
- أ . التراسل بين المقاسم .
 ب . لنقل الإشارات التلفزيونية من الهوائي للتلفاز .
 ج . الخطوط الهاتفية .
 د . جميع ما ذكر صحيح .
- ٨ . من عيوب الكوابل المحورية :
- أ . مرتفعة الثمن جداً .
 ب . لا تتأثر أو تتداخل بالموجات الكهرومغناطيسية .
 ج . صعوبة التركيب .
 د . ذات فقد عالٍ نسبياً عند ازدياد التردد .
- ٩ . من عيوب استخدام الألياف البصرية في أنظمة الاتصال :
- أ . ثقيلة الوزن وسميكة .
 ب . سعتها منخفضة .
 ج . تتأثر بالتداخلات المغناطيسية .
 د . الكلفة الابتدائية عالية عند تركيب النظام البصري .
- ١٠ . يعتمد انتشار الضوء عبر الألياف البصرية على :
- أ . ارتداد الشعاع الضوئي .
 ب . الانعكاس الكلي الداخلي للشعاع الضوئي .
 ج . انكسار الشعاع الضوئي .
 د . الانعكاس الجزئي للشعاع الضوئي .
- ١١ . إن الوظيفة الرئيسة للكاشف الضوئي في المستقبل البصري هي :
- أ . تحويل التيار إلى ضوء .
 ب . ربط المصدر الضوئي بالليف البصري .
 ج . تحويل الضوء إلى تيار .
 د . تحويل التغيرات في التيار إلى تغيرات في الجهد .



أنظمة الميكروويف والاقمار الصناعية



أنظمة الميكروويف والأقمار الصناعية

احتلت أنظمة اتصال الميكروويف موقعاً مهماً في أنظمة الاتصال بعيدة المدى Telecommunications نظراً للإمكانات الهائلة التي وفرتها في نقل المعلومات والإشارات التلفازية والاتصالات الهاتفية من خلال ربط الأماكن البعيدة والمناطق الجبلية الوعرة والشاسعة التي يصعب مد الكوابل فيها وتدعيم آلية نقل الإشارات التلفازية من استوديوهات التلفاز إلى نقاط التغذية الرئيسية للأقمار الصناعية أو من وحدات جمع الأخبار .

وقد أدى ظهور الأقمار الصناعية ، (والتي يمكن اعتبارها محطات معيدة ضمن نظام اتصال ميكروويف بعيد المدى) إلى تسهيل عمليات الاتصال ورفع كفاءتها ونقل المعلومات المسموعة والمرئية بالإضافة إلى ربط مختلف أنحاء المعمورة بعضها ببعض .

أهداف الوحدة

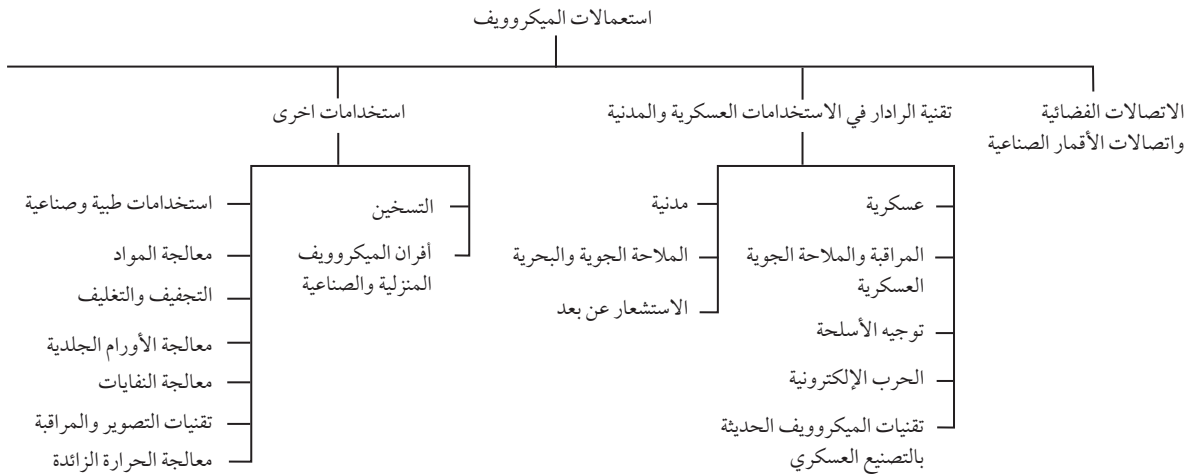
بعد دراستك هذه الوحدة ، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن :

- تتعرف على استعمالات ومزايا الميكروويف .
- تشرح مكونات أنظمة ارسال واستقبال الميكروويف .
- تتعرف على وظائف أجهزة ومعدات الميكروويف .
- تتعرف على استخدامات وأنواع الأقمار الصناعية .
- تتعرف على وظائف ومكونات المحطات الأرضية والأقمار الصناعية .

أنظمة الميكروويف

يطلق على نطاق الترددات الراديوية الواقعة بين (300GHz-1GHz) بنطاق ترددات الميكروويف ، وتسمى الأنظمة التي تستخدم هذه الترددات أنظمة الميكروويف .

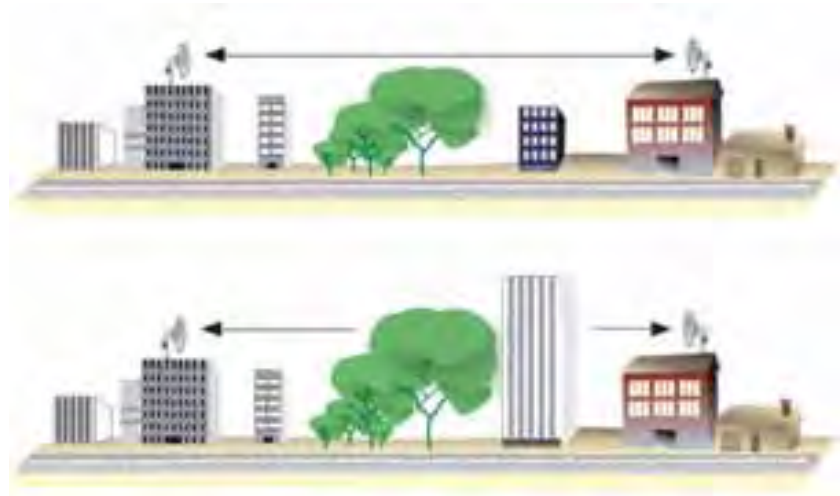
ولأنظمة الميكروويف استعمالات عديدة في مختلف المجالات المدنية والعسكرية والطبية ، ويبين شكل (1) أهم هذه الاستعمالات .



شكل (١) : مخطط يبين أهم استعمالات الميكروويف

نظام اتصالات الميكروويف

يعرف نظام اتصال الميكروويف بأنه نظام اتصال لاسلكي يستخدم نطاق ترددات الميكروويف ، ويعتمد على وجود خط رؤية بين هوائي المحطة المرسله وهوائي المحطة المستقبلة شكل (2)، وتستخدم اتصالات الميكروويف لنقل الإشارات الهاتفية بين المقاسم المختلفة والإشارات الإذاعية والتلفازية .



شكل (٢) : اتصال خط الرؤية

تتأثر موجات الميكروويف عند انتشارها بالعوامل الجوية (المطر، بخار الماء، الثلج، غاز الأكسجين) حيث يحدث امتصاص أو تشتت لهذه الموجات؛ مما يفقدها جزءاً من طاقتها كما أنها تتعرض إلى التداخل والتشويش من أنظمة الاتصالات الأخرى، وأحياناً من أنظمة الرادار، وقد تتعرض للتنصت، وتصل المسافة المستخدمة بين المحطات اللاسلكية من 10Km إلى 50Km في الاتجاه الواحد، في حين تكون المسافة كبيرة في الاتصالات بين الأقمار الصناعية في الفضاء.

مزايا وعيوب أنظمة اتصال الميكروويف

توجد عدة مزايا لاستخدام أنظمة الميكروويف، من أهمها:

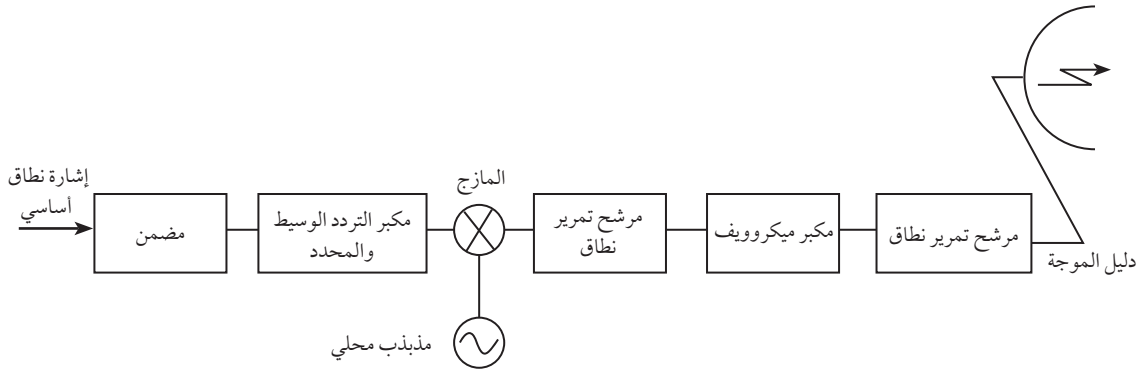
- ١ . تكلفة قليلة مقارنة مع الأنظمة الأخرى.
 - ٢ . سهولة تركيب النظام.
 - ٣ . الوثوقية العالية لوجود أنظمة حماية تعمل على تأمين استمرارية الخدمة عند تعطل أحد الأجهزة، أو عند إجراء عمليات الصيانة.
 - ٤ . سعة النطاق الترددي الذي يمتد من 1GHz إلى 300GHz.
 - ٥ . صغر دارات أنظمة الميكروويف نظراً لقصر طول الموجة أصبح بالإمكان تصميم دارات إرسال وتكبير على لوحة مطبوعة متكاملة.
 - ٦ . إمكانية تصميم هوائيات ذات كسب عالٍ.
- ومن عيوب أنظمة الميكروويف، ما يأتي:
- ١ . الحاجة لوجود خط رؤية بين المرسل والمستقبل.
 - ٢ . الحاجة إلى مواقع خاصة ومحددة لمحطات التقوية.
 - ٣ . مشكلة توفير الطاقة الكهربائية العالية اللازمة لتشغيل محطات التقوية.
 - ٤ . التأثير بتقلب الظروف الجوية.

مكونات نظام الميكروويف

يتكون نظام الميكروويف من محطة إرسال ومحطة استقبال بينهما خط رؤية مباشر، وفي حالة عدم توفر خط رؤية مباشر، تستخدم محطة تقوية معيدة، وتوضح الأشكال الآتية المخططات الصندوقية لكل من محطة الإرسال ومحطة الاستقبال لنظام الميكروويف.

جهاز إرسال ميكروويف (تمائلي)

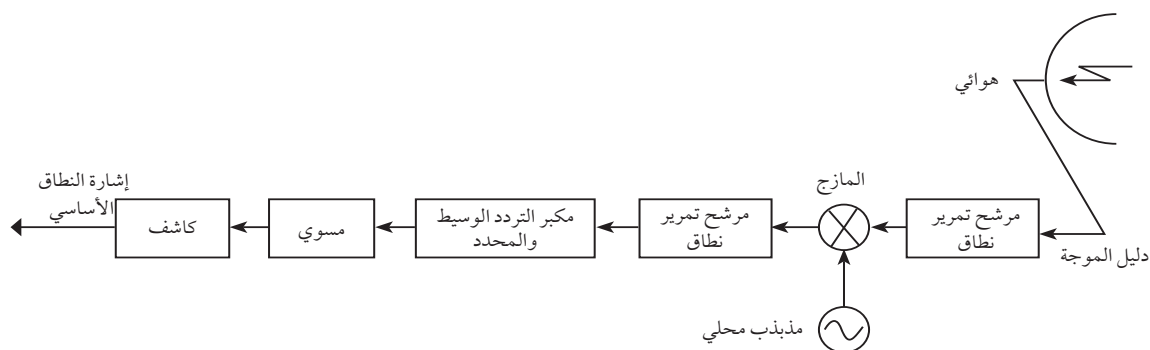
- يوضح شكل (3) المخطط الصندوقي لجهاز إرسال ميكروويف تماثلي والذي يتكون من الأجزاء الآتية :
- المضمن : يقوم بتضمين إشارة النطاق الأساسي على التردد الوسيط 70MHz .
 - مكبر التردد الوسيط والمحدد : يعمل على إزالة التغيرات الحاصلة على اتساع الإشارة التي تم تضمينها ، كما يعمل على تكبير الإشارة إلى مستوى يناسب مدخل المازج .
 - المازج : يقوم بمزج إشارة المذبذب المحلي مع الإشارة الخارجة من مكبر التردد الوسيط (إشارة التردد الوسيط) للحصول على إشارة ميكروويف .
 - مرشح تمرير نطاق : يقوم بتمرير النطاق الترددي المطلوب .
 - مكبر ميكروويف : يقوم بتكبير إشارة مخرج المرشح إلى المستوى المطلوب .



شكل (3): مخطط جهاز إرسال ميكروويف تماثلي

جهاز استقبال ميكروويف تماثلي

- الشكل (4) يبين المخطط الصندوقي لجهاز استقبال ميكروويف تماثلي والذي يتكون من الأجزاء الآتية :
- هوائي الاستقبال : يعمل على تجميع موجات الميكروويف وتمريرها إلى دليل الموجه .
 - مرشح تمرير نطاق : يقوم بتمرير نطاق الترددات المطلوب وتقليل التشويش .
 - المازج : يقوم بمزج إشارة المذبذب المحلي مع الإشارة الخارجة من المرشح للحصول على إشارة التردد الوسيط .
 - مكبر التردد الوسيط والمحدد : يعمل على إزالة التغيرات الحاصلة على اتساع إشارة التردد الوسيط للحصول على مستوى ثابت ، كما يعمل على تكبير الإشارة إلى مستوى يناسب مدخل المسوي .
 - المسوي : يعمل المسوي على إزالة التشويه الحاصل على إشارة التردد الوسيط نتيجة مرورها في المرشحات والدارات السابقة .
 - الكاشف : يعمل على كشف إشارة التردد الوسيط وتحويلها إلى إشارة النطاق الأساسي .



شكل (٤): مخطط جهاز استقبال ميكروويف تماثلي

نشاط (١):

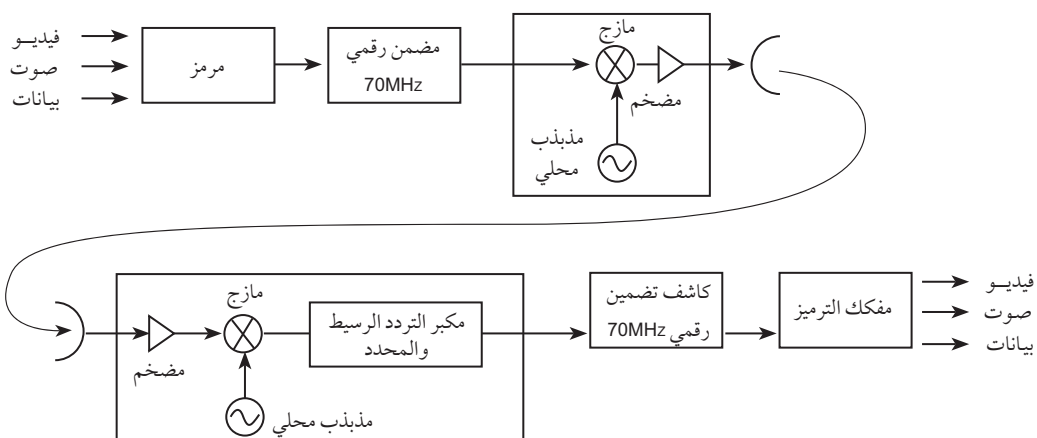
ارسم المخطط الصندوقي لجهاز إرسال وجهاز استقبال ميكروويف تماثلي عند استخدام كيبل محوري بدل دليل الموجة .

جهاز إرسال وجهاز استقبال ميكروويف رقمي

يبين الشكل (5) المخطط الصندوقي لنظام إرسال واستقبال ميكروويف رقمي .

في هذا النظام يعمل المضمن الرقمي على تحويل إشارة مخرج المرمز إلى إشارة راديوية مضمنة بتردد وسيط مقداره 70MHz تدخل بعدها إلى المازج للحصول على تردد الميكروويف ، ومن ثم يتم تكبيرها وإرسالها إلى هوائي الميكروويف .

أما في جهة الاستقبال فيتم تكبير الإشارة المستقبلة قبل ادخالها إلى المازج للحصول على إشارة التردد الوسيط ومن ثم إلى كاشف تضمين رقمي وأخيراً إلى مفكك الترميز للحصول على الإشارات المرسلّة .



شكل (٥): نظام إرسال واستقبال ميكروويف رقمي

الأجهزة والمعدات المستخدمة في أنظمة الميكروويف

تصنف أجهزة الميكروويف حسب طبيعة عملها إلى مجموعتين :

- ١ . أدوات فعالة (Active Devices): مثل الصمامات الفراغية المختلفة ، وعناصر أشباه الموصلات .
- ٢ . أدوات غير فعالة (Passive Devices): مثل أدلة الموجة المختلفة والقطع المستخدمة في ربط دلائل الوجه .

الأدوات الفعالة

تعد الصمامات ومولدات ترددات الميكروويف من أهم الأجهزة المستخدمة في أنظمة الميكروويف ، ومن أهم هذه الأنواع ما يأتي :

١. الصمام الثلاثي: يستخدم في توليد ترددات الميكروويف وتكبيرها ، ويبين الشكل (6) أحد أنواع هذه الصمامات المستخدمة في أنظمة البث بين المحطات الأرضية والأقمار الصناعية .

٢. الكليسترون (Klystron): يستخدم كمكبر للقدرة وكمذبذب إشارة ميكروويف ، ويعتمد في مبدأ عمله على وجود تجاويف وزيادة عدد هذه التجاويف يعمل على تحسين الكفاءة والقدرة إلى حد كبير . الشكل (7) يبين أحد أنواع الكليسترون .

٣. الماجنيترون (Magnetron): هو صمام ثنائي يعمل على توليد موجات ميكروويف (2GHz-70GHz) لها قدرة عالية جداً تزيد عن 1MW ويستخدم في أجهزة الرادار ، وفي أفران الميكروويف . لاحظ الشكل (8) .



شكل (٨): الماجنيترون



شكل (٧): كليسترون



شكل (٦): صمام ثلاثي

٤. صمام ومكبر الموجة الراحلة (TWT): يعمل على تكبير موجات الميكروويف ويستخدم في المحطات المعيدة ، ويبين شكل (9) تركيب هذا الصمام .

TWT Traveling Wave Tube

٥. عناصر أشباه الموصلات وداراتها: تستخدم أشباه الموصلات للقيام بوظائف كثيرة عند تردد موجات الميكروويف، منها التكبير، وتوليد الترددات، وفي دارات الفتح، والإغلاق، ومضاعفة التردد، وغيرها. ومن أهم هذه العناصر: ثنائي الفاراكتور، الثنائي النفقي، مكبرات المقاومة السالبة، ثنائي Gunn.



شكل (٩): صمام ومكبر الموجه الراحلة

الأدوات غير الفعالة

يقصد بها جميع الوسائل المستخدمة في نقل وتمرير وتوجيه إشارات الميكروويف.

■ أدلة الموجة Waveguides: عندما برزت الحاجة لنقل الموجات الكهرومغناطيسية بترددات الميكروويف، فإن خطوط النقل التقليدية (الثنائية والمحمورية) لم تكن مناسبة بسبب التوهين العالي الذي تسببه للإشارات المنقولة عند ترددات الميكروويف.

إن أدلة الموجة هي أفضل وسيط لنقل الموجات الكهرومغناطيسية عند الترددات التي تزيد عن 1 جيجاهيرتز.

تعرف أدلة الموجة بأنها: أنابيب معدنية جيدة التوصيل للكهرباء ومصقولة من الداخل لتعمل على عكس الموجات بداخلها وصولاً إلى نهاية الدليل. يبين الشكل (10) أشكالاً متنوعة من أدلة الموجة. الاستخدامات: تستخدم أدلة الموجة في التطبيقات التي تعمل بترددات الميكروويف، مثل:

١. تراسل الميكروويف حيث تعد أدلة الموجة من المكونات الأساسية لهذه الأنظمة، ويتم استخدامها لنقل الموجات الكهرومغناطيسية من وإلى الهوائيات المثبتة فوق أبراج الميكروويف. انظر الشكل (11).

٢. الكثير من أنظمة الرادار العسكرية والمدنية.

٣. في بعض التطبيقات الصناعية الخاصة.

٤. في الأجهزة الطبية التي تستخدم ترددات الميكروويف.



شكل (١١): استخدام أدلة الموجة على أبراج الميكروويف



شكل (١٠): أشكال متنوعة لأدلة الموجة

مزايا وعيوب أدلة الموجة :

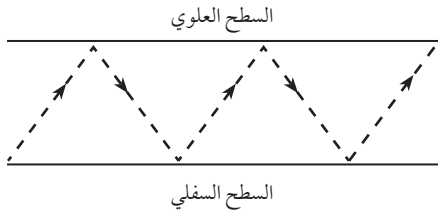
بشكل عام ، يمكن تلخيص أهم مزايا أدلة الموجة بالآتي :

- سهولة التصنيع مقارنةً بخطوط النقل الأخرى .
- قلة الفاقد Losses مقارنةً بخطوط النقل الثنائية والمحورية .
- لا تتأثر بالتداخلات الكهرومغناطيسية المحيطة ؛ لأن دليل الموجة يعمل كمرشح تمرير عالٍ .
- قدرتها على نقل الموجات الكهرومغناطيسية بطاقة عالية أكبر من قدرة خطوط النقل الأخرى .

أما العيوب فأهمها :

- صعوبة تركيبها لصلابتها ، وحاجتها إلى أدوات خاصة للربط عند نقاط الوصل Special Coupling .
- ذات كلفة عالية مقارنةً بالكوابل .
- غير مناسبة إلا لنقل إشارات الميكروويف .

أهم الخصائص الكهربائية لأدلة الموجة :



١ . عندما يتم إشعاع الموجات داخل الدليل فإنها تنعكس بداخله بشكل مستمر وصولاً إلى نهاية الدليل كما يتضح من الشكل (12) .

٢ . يعتمد تصميم دليل الموجة على التردد ومقدار الطاقة الكهرومغناطيسية للإشارات التي سوف يحملها .

٣ . يوجد لكل دليل موجة تردد قطع (Cut-Off Frequency) يعتمد في قيمته على أبعاد مقطع دليل الموجة ، ويعرّف تردد القطع لدليل الموجة بأنه : أقل تردد يمكن أن يمر عبر الدليل ، بحيث لا يمكن إرسال إشارات ترددها أقل من تردد القطع لهذا الدليل .

٤ . تعتمد قيمة الممانعة المميزة Z_0 لدليل الموجة على تردد الإشارات المنقولة (المستخدمة) خلافاً للأنواع الأخرى من خطوط النقل ، والتي تبقى ممانعتها المميزة ثابتة .

٥ . يشبه دليل الموجة في تركيبه الكابل المحوري غير أنه لا يحتوي على موصل داخلي . ويسري التيار على السطح الخارجي لدليل الموجة الذي تزيد مساحته كثيراً عن سطح الموصل الداخلي للكابل المحوري ؛ مما يمكن من التغلب على ظاهرة تأثير السطح (Skin Effect) .

(تعرف ظاهرة تأثير السطح بأنها : ميل الشحنات الكهربائية ذات الترددات العالية إلى السريان على السطح الخارجي للموصل فقط ، بسبب زيادة المقاومة الفعالة للموصل عند ازدياد تردد الإشارة المارة فيه) .

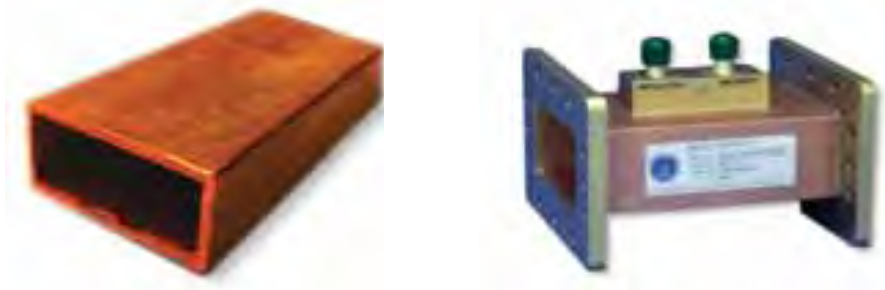
أشكال أدلة الموجة Waveguides Shapes

يوجد أشكال متعددة لأدلة الموجة بحسب مقطع الدليل ، وأهم هذه الأشكال هي :

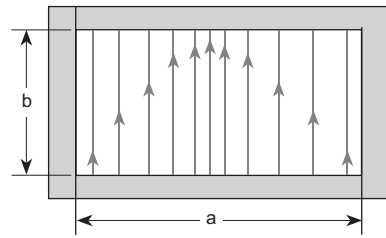
دليل الموجة المستطيل ، دليل الموجة الدائري ، دليل الموجة البيضاوي .

١ . دليل الموجة المستطيل (Rectangular Waveguide) ويعدّ أكثر أنواع أدلة الموجة شيوعاً ، وهو عبارة عن أنبوب معدني جيد التوصيل للكهرباء ذي مقطع مستطيل . انظر الشكل (13) .

► شكل (١٣) : دليل
الموجة المستطيل



يتوزع المجال الكهربائي داخل الدليل بحيث يكون عمودياً على السطحين العلوي والسفلي ، وتتركز شدة المجال في منتصف الدليل كما يتضح من الشكل (14) .



يمكن حساب تردد القطع لدليل الموجة المستطيل من العلاقة الآتية :

$$f_c = \frac{C}{2a}$$

حيث : f_c : تردد القطع لدليل الموجة المستطيل .

C : سرعة الضوء البالغة (3×10^8) متر/ ثانية .

a : طول مقطع الدليل (انظر الشكل 14) .

شكل (١٤) : توزيع المجال الكهربائي في
دليل الموجة المستطيل

مثال (١) : يراد إرسال موجة ميكروويف ترددها (3.3) جيجا هيرتز بواسطة دليل موجة مستطيل .

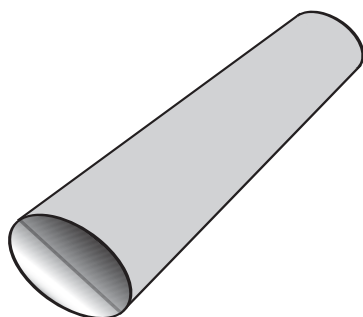
احسب طول مقطع الدليل المناسب لإرسال الموجة أعلاه .

$$f_c = \frac{C}{2a} \longrightarrow a = \frac{C}{2f_c} \quad \text{الحل:}$$

$$a = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3.3 \times 10^9} = \frac{0.3}{6.6} = 0.045 \text{ m}$$

$a = 4.5 \text{ cm}$ (طول مقطع الدليل)

ومن المفيد معرفة أن عرض مقطع الدليل المستطيل (b) يساوي نصف طول مقطع الدليل (a) كما هو مبين في الشكل (14)، أي إن :



$$a = 2b \longrightarrow b = \frac{1}{2} a$$

٢. دليل الموجة الدائري Circular Waveguide

وهو أيضاً أنبوب معدني جيد التوصيل للكهرباء إلا أن شكل مقطعه دائري. انظر الشكل (15).

يستخدم الدليل الدائري في مناطق محددة من أنظمة الرادار وأنظمة اتصالات الميكروويف، مثل الوصلات الدوارة التي تصل بين دليل الموجة الرئيس وبين الهوائيات المتحركة.

شكل (١٥): دليل الموجة الدائري

يمتاز هذا النوع من أدلة الموجة بسهولة التصنيع وبقلة توهينه للإشارات المنقولة، وأما أهم العيوب التي يعاني منها مقارنةً بالدليل المستطيل فهي حاجته إلى مساحة مقطع أكبر من تلك التي يحتاجها الدليل المستطيل لتوصيل نفس الإشارة.



٣. دليل الموجة البيضاوي (المرن) (Elliptical Flexible Waveguide)،

وهو أنبوب معدني من مادة جيدة التوصيل للكهرباء كالنحاس الأصفر وذو مقطع بيضاوي. كما هو مبين في الشكل (16).

وكما يظهر من الشكل (16) يمتاز هذا النوع بوجود غلاف خارجي من مادة بلاستيكية عازلة لحمايته من المؤثرات البيئية المحيطة كالحرارة والرطوبة وغيرها، كما يطلى سطحه الداخلي بمادة الكروميوم.

يمتاز هذا النوع بمرونته Flexible وقابليته للشني، مما يجعله مناسباً للعديد من الاستخدامات والتطبيقات العملية.

شكل (١٦): دليل الموجة المرن

أما أهم عيوبه فهو : توهينه العالي للإشارات المنقولة؛ لأن سطحه الداخلي ليس ناعماً تماماً، لذا فهو مستخدم فقط في مقاطع صغيرة عندما لا يتوفر بديل عن استخدامه.

طرق الإدخال والإخراج من دليل الموجة Waveguide Input/Output Methods

تعمل أدلة الموجة بطريقة مختلفة عن خطوط النقل العادية، لذا لا بد من توفر أدوات لإدخال الطاقة في الدليل، ومن ثم إزالتها في الطرف الآخر حيث تعمل هذه الأدوات على إشعاع الطاقة وإرسالها عبر الدليل، ومن ثم استقبالها عند نهاية الدليل، وأهم الأدوات المستخدمة لتحقيق هذه الغاية:

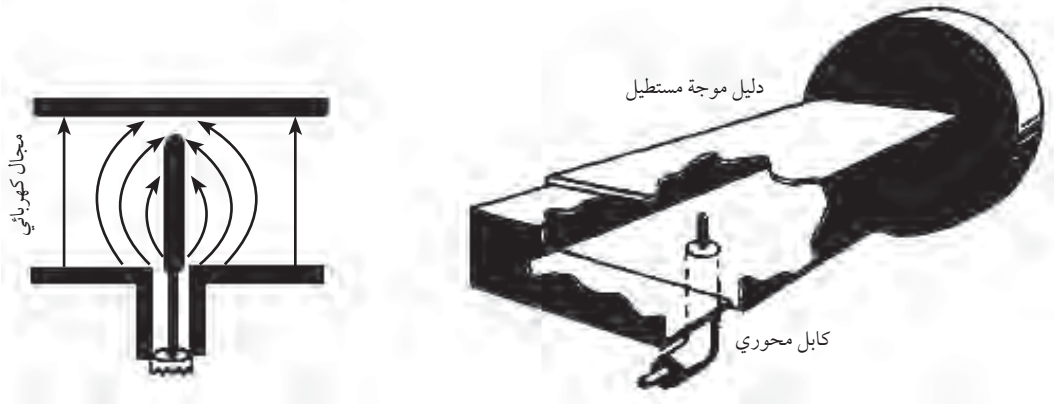
■ مجس Probe (الموصل الداخلي لكابل محوري).

■ حلقة Loop .

■ نافذة (فتحة) (Window Slot Or Aperature) .

وبحسب الأداة المستخدمة ، يمكن تصنيف الطرق الآتية في الإدخال والإخراج :

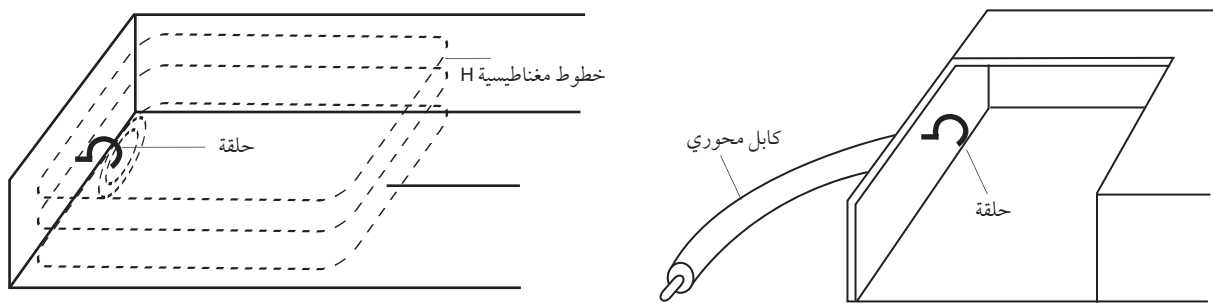
١ . الإدخال والإخراج باستخدام المجس : في هذه الطريقة يتم وضع مجس صغير داخل دليل الموجة يعمل كهوائي عند تزويده بالطاقة ، وعندما يسري التيار (بترددات الميكروويف) في المجس فإنه يقوم بإشعاع الموجات داخل الدليل عند الإرسال وبالتقاطها عند الاستقبال . انظر الشكل (17) .



شكل (١٧) : الإدخال والإخراج باستخدام المجس

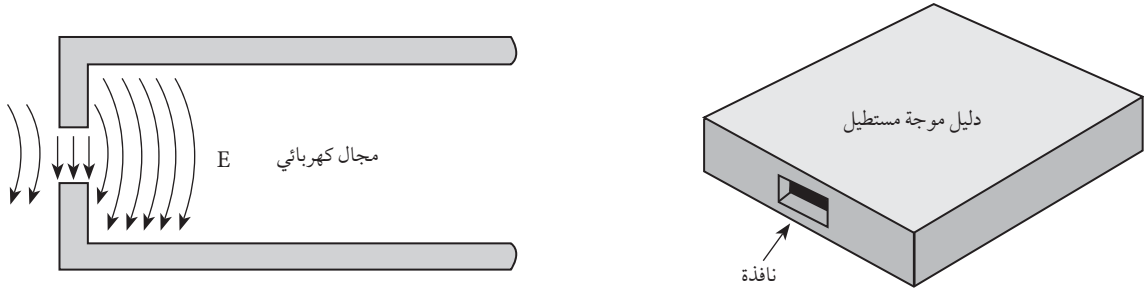
٢ . الإدخال والإخراج باستخدام حلقة Loop : وفي هذه الطريقة يتم وضع حلقة تحمل تياراً عالياً وتعمل على توليد مجال مغناطيسي H . انظر الشكل (18) .

وإذا كان تردد التيار المار في الحلقة ضمن عرض النطاق الترددي لدليل الموجة ، عندها يحصل انتقال للطاقة إلى دليل الموجة .



شكل (١٨) : الإدخال والإخراج باستخدام الحلقة

٣. الإدخال والإخراج باستخدام نافذة (فتحة أو ثقب): في هذه الطريقة يتم إدخال الطاقة من خلال فتحة صغيرة في دليل الموجة ينتشر من خلالها المجال الكهربائي إلى دليل الموجة . انظر الشكل (19).



شكل (١٩) : الإدخال والإخراج باستخدام نافذة

تستخدم هذه الطريقة عند الرغبة في التحكم بمستوى الطاقة الداخلة لدليل الموجة (نقل كمية محدودة من الطاقة الكهرومغناطيسية).

■ الأكواع Bends: تستخدم الأكواع لوصل دليلي موجة في حال وجود زوايا في مسار دليل الموجة ، كما هو موضح بشكل (20).

■ وصلات ربط دليل الموجة مع كابل محوري: تستخدم لوصل دليل موجة مع كابل محوري لتبادل إشارات الميكروويف بينها . لاحظ الشكل (21).



شكل (٢١) : وصلات ربط الموجة مع كابل محوري



شكل (٢٠) : أكواع

■ تحويلة الربط بين الأشكال المختلفة من دلائل الموجة: تستخدم لهذه الغاية إحدى التحويلات (adapters) المناسبة .

■ الرابط الاتجاهي Directional Coupler: يستخدم لأخذ عينة من إشارة الميكروويف التي تسير في اتجاه معين لأغراض القياس دون التأثير على مستوى تلك الإشارة في ذلك الاتجاه ، ويبين الشكل (22) احد أنواع الروابط الاتجاهية .

■ العازل Isolator: يسمح بمرور إشارات الميكروويف في اتجاه واحد ويقوم بتوهين الإشارة في الاتجاه المعاكس ، ويبين شكل (23) أحد الأنواع المستخدمة .

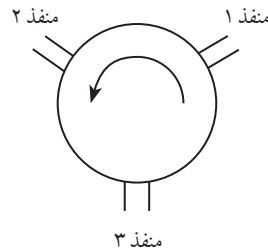
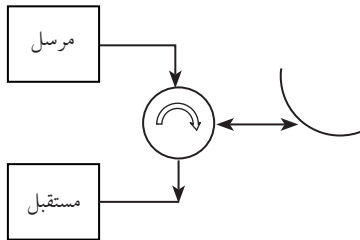


شكل (٢٣): عازل



شكل (٢٢): ربط اتجاهي

- المدور Circulator: يستخدم لتمرير الإشارة القادمة من أي منفذ (port) إلى المنفذ الذي يليه مباشرة في اتجاه دائري كما هو مبين بشكل (24)، ويمكن استخدامه لربط جهاز الإرسال والاستقبال عن طريق دليل الموجة مع الهوائي، ويعمل على حماية أجهزة الاستقبال من إشارات الميكروويف المرسله عالية القدرة عند البث، لاحظ الشكل (24).



شكل (٢٤): المدور

- قطعة إنهاء دليل الموجة Terminator: تستخدم لإنهاء أحد أطراف دليل الموجة أو المدورات أو الروابط الاتجاهية بحيث تمنع تسرب إشارة الميكروويف ويبين شكل (25) بعض أنواع قطعة إنهاء دليل الموجة.



شكل (٢٥): قطعة إنهاء دليل الموجة

- الموهنات Attenuator: تستخدم الموهنات لأغراض القياسات أو التحكم في مستوى الإشارات المطلوب تمريرها، وتعتمد في عملها على وجود حاجز رقيق متحرك يعترض مسار إشارة الميكروويف، مما يؤدي إلى توهينها، يوضح شكل (26) بعض أنواع الموهنات.



شكل (٢٦): الموهنات

■ المرشحات Filters: تستخدم لتمرير نطاق معين من ترددات الميكروويف، ويبين شكل (27) أحد أنواع مرشحات الميكروويف.

الأمور الواجب مراعاتها عند تصميم شبكات اتصال الميكروويف:



شكل (٢٧): مرشح

١. طبيعة الموقع الجغرافي للمحطة.

٢. قدرة جهاز الإرسال.

٣. ارتفاع محطات الإرسال والاستقبال.

٤. عدد القنوات المتاحة لنقل البيانات المختلفة.

٥. مستوى التشويه بأنواعه على الإشارة المستقبلية.

٦. الترددات المستخدمة وسرعة نقل البيانات حيث كلما زاد التردد قلت المسافة والعكس صحيح بين النقطتين فمثلا تكون قيمة التردد صغيرة في خط الميكروويف بين الخليل وغزة بينما تكون قيمة التردد عالية بخط الميكروويف بين رام الله وبلدة سلواد).

٧. المسافة بين نقطي الإرسال والاستقبال.

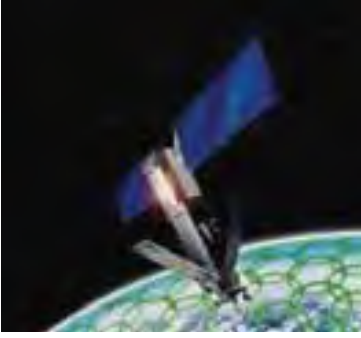
انظمة الأقمار الصناعية



شكل (٢٨): قمر صناعي تل ستار (Telstar)

تقدم الأقمار الصناعية خدمة مكاملة لأنظمة خطوط النقل، مثل الكوابل النحاسية والألياف البصرية كما تقدم خدمات الاتصال إلى السفن والطائرات والمركبات الفضائية، وقد مرت الأقمار الصناعية بمراحل كثيرة حتى وصلت إلى ما هي عليه اليوم، وفيما يأتي لمحة تاريخية لمراحل تطورها:

■ عام ١٩٥٨ أُطلق أول قمر صناعي، وكان يستخدم شريط مغناطيسي لتخزين المعلومات، ومن ثم إعادة إرسالها لاحقا.



شكل (٢٩): قمر صناعي خاص بنظام اريديوم

- في عام ١٩٦٠ اطلق قمر اخر او كان عبارة عن كرة معدنية تستخدم كعاكس للاشارات الكهرومغناطيسية .
- أول قمر صناعي حقيقي كان من إنتاج شركة AT&T وأطلق عام 1962 ووضع في مدار إهليجي حول الأرض يتمه كل ساعتين .
- بعد ذلك توالى تطوير أنظمة الأقمار الصناعية وتزايدت أعدادها حتى أصبحت بالمئات .

وتتميز الأقمار الصناعية بما يأتي :

- ١ . عدم تقيدها بالتضاريس الجغرافية لسطح الأرض .
 - ٢ . اتساع منطقة التغطية .
 - ٣ . عدم تقيدها بالحدود السياسية للدول .
- لكنها في المقابل مكلفة في التصنيع والإطلاق و التشغيل ؛ مما ينعكس على ارتفاع الكلفة على المستخدم .

استخدامات الأقمار الصناعية

- أقمار الاتصالات : تستخدم لإعادة تقوية وإرسال القنوات الهاتفية والتلفازية وتحتوي على جهاز محول التردد Transponder ، وهو جهاز يقوم باستقبال القنوات على تردد معين ، ومن ثم تقويتها وإعادة إرسالها إلى الأرض على تردد آخر ، ومن هذه الأقمار عربسات والنيلسات هوت بيرد وتلستار وانتلستات .
- أقمار الاتصالات المتنقلة : هي مجموعة من الأقمار تستخدم لتأمين خدمة الاتصالات المتنقلة ، مثل أنظمة الهاتف الخليوية إلا أنها تغطي كامل مساحة الكرة الأرضية .
- أقمار الأرصاد الجوية : هي أقمار تساعد في التنبؤ بحالة الطقس ومراقبة العواصف والتغيرات المناخية ، وذلك عبر التقاط صور للأرض وطبقات الجو وإرسال هذه الصور إلى الأرض ، ومن هذه الأقمار تيروس TIROS و كوزموس COSMOS .
- أقمار علمية : هي أقمار للأبحاث العلمية ، وتقوم بمراقبة الكون و التقاط الصور للمجرات وأشهر هذه الأقمار قمر هابل ، وهو عبارة عن تلسكوب فضائي ضخم لمراقبة وتصوير الكواكب و المجرات البعيدة .
- أقمار الملاحة : هي مجموعة أقمار صناعية تستخدم في تحديد المواقع GPS وتساعد السفن والطائرات على تحديد وجهتها ، مثل GPS NAVASTAR satellites .
- الأقمار العسكرية : هي أقمار سرية الطابع ، تحتوي على تكنولوجيا متطورة وتقوم بتقوية و بث الاتصالات العسكرية المشفرة والتجسس ومراقبة التحركات العسكرية و أنظمة الإنذار المبكر .

الوحدات الرئيسية للأقمار الصناعية

ومع تنوع استخدامات هذه الأقمار إلا أنها تتشابه في الوحدات الرئيسية، وهي كما يأتي :

- **وحدة الطاقة:** هي غالباً ما تتكون من ألواح طاقة شمسية وبطاريات قابلة للشحن لتخزين الطاقة والانظمة الحديثة تحتوي على مايعرف بخلايا الوقود، ويستخدم في بعض الأنواع الوقود الذري في الأقمار المرسله إلى كواكب المجموعة الشمسية .
- **وحدة حاسوبية:** تقوم بالتحكم والمراقبة لمختلف أنظمة القمر الصناعي .
- **وحدة الاتصالات والهوائيات:** وتستخدم هذه الوحدة في الاتصال مع أنظمة التحكم الأرضية وإرسال معلومات عن حالة القمر، وفي بعض الأنظمة يمكن للمحطة الأرضية أن تتحكم في مدار القمر وتغيير برمجته .
- **نظام التوجيه:** وظيفته الحفاظ على موقع ومسار القمر وتوجيه الهوائيات نحو الموقع المطلوب .

مدارات الأقمار الصناعية

وتتنوع الأقمار الصناعية على مدارات حول الأرض كما في الشكل (28) وذلك حسب طبيعة استخدامها، وتصنف هذه المدارات كما يأتي :



١ . المدار الجغرافي الثابت (GEO).

٢ . المدار الوسطي (MEO).

٣ . المدار المنخفض (LEO).

شكل (٢٩): توزيع الأقمار الصناعية على مدارات

المدار الجغرافي الثابت (GEO)

هذا المدار هو الأكثر استخداماً وارتفاعاً، ويستخدم بكثرة في أنظمة البث الإذاعي والتلفازي، والأقمار في هذه المدارات تبقى مسلطة على بقعة واحدة من الأرض، ويتم ذلك بأن يوضع القمر على ارتفاع 35768Km من سطح الأرض عمودياً على خط الاستواء، ويدور بشكل متزامن مع دوران الأرض بحيث يبقى ثابتاً فوق تلك البقعة .

ويتميز هذا النوع ببساطة نظام الاستقبال الأرضي وعدم حاجته

لأجهزة تحكم معقدة لإبقائه على اتصال مع القمر الصناعي . بالإضافة إلى بقاء الاتصال مستمراً مع القمر على مدار اليوم .

GEO Geostationary Orbit
MEO Medium Orbit
LEO Low Orbit

المدار الوسطي (MEO)

يمتد هذا المدار من مسافة 5000Km إلى 12000Km عن سطح الأرض، وتدور الأقمار الصناعية فيه حول الأرض، وتكمل دورة واحدة كل 2 إلى 12 ساعة، وقد تكون هذه المدارات دائرية أو اهليلجية، وبسبب قربها من سطح الأرض فإن طاقة الإرسال لها منخفضة، مما يمكن من استخدام أجهزة اتصالات أصغر حجماً، ويستخدم

عادة مجموعة من الأقمار ينسق فيما بينها لضمان تغطية كامل مساحة الأرض في أي لحظة ما ، ويستخدم هذا النوع في أنظمة تحديد المواقع GPS.

المدار المنخفض (LEO)

يمتد هذا المدار من مسافة 500Km إلى 900Km من سطح الأرض وبسبب هذا القرب فإن الأقمار تدور بسرعة عالية لتجنب سقوطها على سطح الأرض وهذه السرعة تساوي 27359Km/h ، وتستغرق الدورة الكاملة ما بين 90 دقيقة إلى عدة ساعات وتوضع هذه الأقمار ضمن منظومة وينسق فيما بينها لضمان تغطية كامل مساحة سطح الأرض .

وتستخدم هذه الأقمار للاتصالات المتنقلة بشكل مشابه للأنظمة الخليوية ، وستلعب دوراً مهماً مستقبلاً في تطور أنظمة الهواتف الخليوية المستقبلية التي ستميز بسرعة نقلها للمعلومات و تغطيتها لكامل مساحة الكرة الأرضية ، ومن هذه الأنظمة اريديوم والثريا .

المحطات الأرضية

وتنقسم إلى محطات الإرسال والاستقبال ، ومحطات التحكم .

محطات الإرسال والاستقبال

من هذه المحطات ما هو مستخدم للإرسال والاستقبال في نفس الوقت كما في أنظمة الاتصالات الهاتفية والتلفازية وأنظمة نقل المعلومات كما في الشكل (29) ومنها ما هو للاستقبال فقط ، مثل أنظمة الاستقبال التلفزيوني المنزلية ، وتتكون أنظمة الاستقبال التلفزيوني من وحدة داخلية ووحدة خارجية كما في الشكل (30) .

الوحدة الخارجية: وتتكون من :

- هوائي الصحن (Dish): ويقوم بعكس وتجميع إشارات القمر الصناعي إلى مدخل وحدة خافض التردد .
- وحدة خافض التردد منخفض التشويش (LNB) وتحتوي على مضخم منخفض التشويش LNA وخافض للتردد (Downconverter) الذي يقوم بتخفيض النطاق 12.2-12.7GHz إلى 1450-950MHz ليتمكن إرسالها خلال خط النقل المحوري إلى وحدة الاستقبال الداخلية .

وحدة الاستقبال الداخلية: تتكون من :

- ناخب القناة (Tuner) الذي يقوم باختيار التردد المطلوب .
- كاشف التضمين يقوم بكشف تضمين QPSK إلى سلسلة من الإشارات الرقمية ، ثم تستخدم تقنيات تصحيح الخطأ لتصحيح الخانات الرقمية المشوهة .

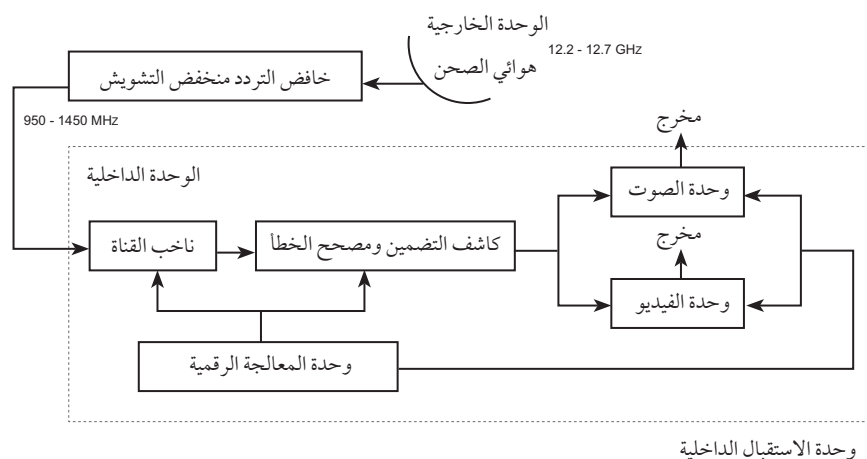


شكل (٣٠): نظام إرسال واستقبال تلفزيوني



شكل (٣١): نظام استقبال تلفزيوني

- وحدة فك الدمج، وتقوم باستخلاص القنوات المدمجة بتقنية TDMA.
- وحدة المعالجة الرقمية، وتقوم بفحص صلاحيات مشاهدة القنوات إذا ما كانت مجانية أو مشفرة، ومعالجة وفك القنوات المشفرة.
- وحدتي الصوت والفيديو، وتقومان بتحويل إشارات الصوت والفيديو الرقمية إلى تماثلية لترسل إلى جهاز التلفزيون.



شكل (٣٢): نظام استقبال تلفزيوني فضائي

محطات التحكم

هذه المحطات تستخدم من قبل شركات و مشغلي أنظمة الأقمار الصناعية من أجل التحكم في موقع القمر الصناعي في مداره، ومن أجل تنظيم عمل القمر و توزيع القنوات على المستخدمين .

الخصائص الفنية للأقمار الصناعية:

الجدول التالي يبين الترددات المستخدمة في أنظمة اتصالات الأقمار الصناعية :

اسم النطاق	التردد (GHz)	الاستخدامات
VHF	0.3 - 0.1	يستخدم في أنظمة الأقمار الصناعية المتنقلة و أنظمة الملاحة ونقل البيانات من أقمار الأرصاد الجوية .
UHF	1.0 - 0.3	
L	2.0 - 1.0	
S	4.0 - 2.0	يستخدم في أقمار الأرصاد الجوية، وبعض أقمار الاتصالات .
C	8.0 - 4.0	يستخدم للأقمار الصناعية الثابتة، وتستخدم الأقمار الصناعية النطاق 4.2GHz - 3.7GHz في الإرسال (Downlink) و النطاق 6.4GHz - 5.9GHz في الاستقبال (Uplink) ويستخدم في أنظمة البث التلفزيوني .
X	12.0 - 8.0	يستخدم في بعض أنظمة أقمار الاتصالات وأنظمة الرادار .

يستخدم في البث التلفزيوني .	18.0 – 12.0	Ku
يستخدم في بعض أنظمة أقمار الاتصالات .	27.0 – 18.0	K
	40.0 – 27.0	Ka
لايستخدم بشكل كبير إلا في بعض الأبحاث العلمية ، وتم تحديده لأنظمة الاتصال القصيرة المدى والسعة العالية .	75 – 40.0	V
ما زالت الأنظمة التي تستخدم هذه الترددات قيد البحث و التطوير .	110 – 75	W
	300 – 110	Mm
	3000 - 300	Mμ

يتم توزيع الترددات و تقسيمها على الكرة الأرضية على النحو الآتي :

١ . أمريكا الشمالية والجنوبية .

٢ . أوروبا وإفريقيا وروسيا .

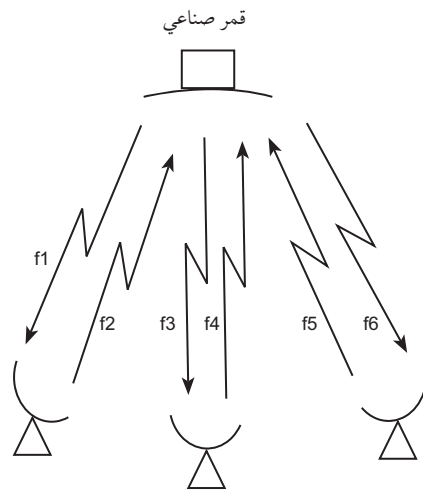
٣ . آسيا وأستراليا وجنوب غرب المحيط الهادي .

وتوزع الترددات على حسب الخدمات ، حيث يمكن لخدمة معينة في منطقة ما أن يختلف ترددها عن منطقة أخرى .

تقنيات الوصول

تستخدم في أنظمة الأقمار الصناعية نفس تقنيات الوصول كما

في الأنظمة الأرضية وهي :



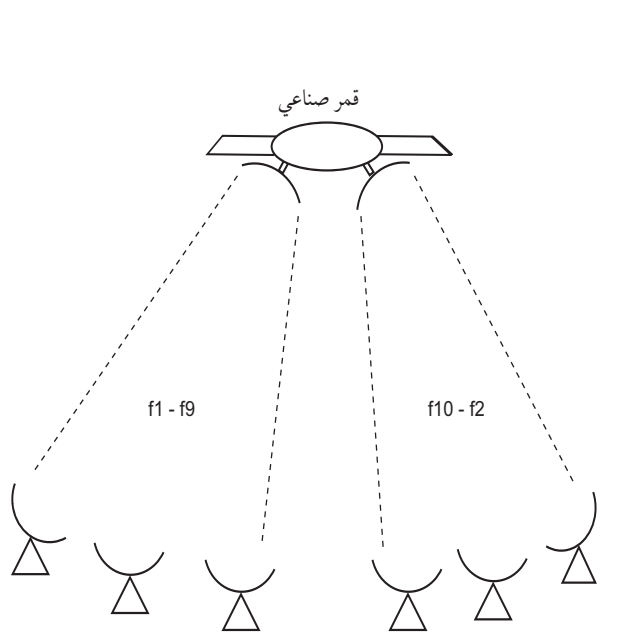
شكل (٣٣) : FDMA

■ FDMA : في هذا النوع يتم توزيع قنوات الاتصال بين مختلف المحطات الأرضية حيث توزع الترددات بين المحطات ، و يتم تجميع هذه القنوات ضمن نطاق ترددي عريض كما في الشكل (33) .

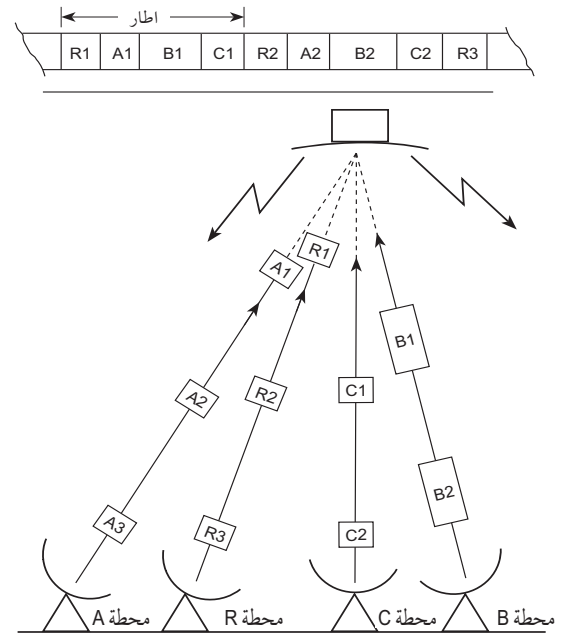
■ TDMA : يتم في هذا النوع تقسيم القنوات زمنياً بين المحطات الأرضية بحيث تعطى كل محطة شريحة زمنية محددة ضمن الإطار الزمني على النطاق الترددي نفسه . لاحظ الشكل (34) .

■ CDMA : ترسل القنوات في هذا النوع بشكل متزامن على النطاق الترددي نفسه ، لكن تعطى كل قناة ترميزاً محدداً ليتمكن بعد ذلك التفريق بينها في جهة الاستقبال .

■ SDMA : توزع الترددات في هذا النوع على مناطق التغطية بحيث يمكن إعادة استخدام نفس الترددات أكثر من مرة وذلك بتوجيه هوائيات القمر الصناعي لتغطي مناطق محددة (Spot) كما في الشكل (35) .



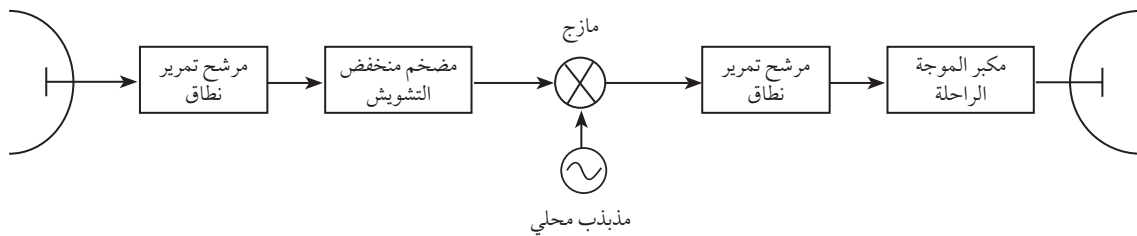
شكل (٣٥): SDMA



شكل (٣٤): TDMA

محول التردد Transponder

يستخدم محول التردد في أنظمة أقمار الاتصالات، حيث يقوم باستقبال الاشارات الأرضية ضمن مدى ترددي معين (6GHz في c-band) لتمر عبر مرشح نطاق، ومن ثم إلى مضخم منخفض التشويش LNA. يقوم بعد ذلك المازج بتخفيض تردد الاشارات المستقبلية (4GHz في c-band)، ويقوم مرشح النطاق بتمرير التردد المرغوب، وقبل إرسال هذه الموجة إلى الأرض يتم تضخيمها عبر أنبوب مكبر الموجة الراحلة TWT.



شكل (٣٦): محول التردد

- س ١ : أ. ما المقصود بالآتي : نظام اتصال الميكروويف ، خط الرؤية؟
 ب. أذكر خمسة استخدامات للميكروويف في الطب والصناعة .
- س ٢ : اذكر مزايا أنظمة إتصال الميكروويف .
- س ٣ : وضح مع المخطط الصندوقي مكونات جهاز إرسال وجهاز استقبال الميكروويف التماثلي .
- س ٤ : اذكر تصنيفات أجهزة الميكروويف حسب طبيعة عملها .
- س ٥ : اذكر استخدام كل من العناصر الآتية :
- الكليسترون ، الماجنيترون ، الصمام الثلاثي ، مكبر الموجة الراحلة ، الرابط الاتجاهي ، العازل ، المدور .
- س ٦ : وضح مبدأ عمل وتركيب دليل الموجة .
- س ٧ : اذكر استخدامات وأنواع دليل الموجة .
- س ٨ : ما هي الأمور الواجب مراعاتها عند تصميم شبكات اتصال الميكروويف؟
- س ٩ : وضح باختصار الوحدات الرئيسة المكونة للأقمار الاصطناعية .
- س ١٠ : اذكر مكونات أنظمة الاستقبال التلغرافية المستخدمة بأنظمة الأقمار الصناعية .
- س ١١ : وضح باختصار مع الرسم الصندوقي مكونات وحدة الاستقبال الداخلية بأنظمة الأقمار الصناعية .
- س ١٢ : وضح آلية توزيع الترددات على الكرة الأرضية .
- س ١٣ : اشرح مع الرسم الصندوقي مكونات محول التردد .
- س ١٤ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :
- ١ . من استعمالات الميكروويف الاستشعار عن بعد .
 - ٢ . تتعرض موجات الميكروويف للتنصت والتشتت .
 - ٣ . يستخدم الصمام الثلاثي لتكبير ترددات الميكروويف فقط .
 - ٤ . يعتمد الكليسترون في عمله على وجود تجاويف تساعد على توليد ترددات الميكروويف .
 - ٥ . يستخدم المدور في أنظمة اتصال الميكروويف لتمرير الإشارة القادمة من أي منفذ إلى المنفذ الذي يسبقه مباشرة .
 - ٦ . من مميزات الأقمار الصناعية تقيدها بالتضاريس الجغرافية لسطح الأرض .
 - ٧ . يعدّ المدار الوسطي أكثر استخداماً والأكثر ارتفاعاً .
 - ٨ . يستخدم محول التردد في أنظمة الأقمار الصناعية لاستقبال الإشارات الأرضية ضمن المدى الترددي 4GHZ .

س ١٥ : اختر الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية :

- ١ . تقع ترددات الميكروويف ضمن النطاق الترددي :
 - أ . 30GHZ – 1GHZ
 - ب . 300GHZ – 1GHZ
 - ج . 3GHZ – 1GHZ
 - د . غير ذلك .
- ٢ . من عيوب استخدام أنظمة الميكروويف :
 - أ . التكلفة العالية .
 - ب . عدم فعالية أنظمة الحماية .
 - ج . التأثير بتقلب الظروف الجوية .
 - د . غير ذلك .
- ٣ . يعدّ الماجنيترون :
 - أ . مكبر ترددات الميكروويف .
 - ب . صمام ثنائياً مولداً ترددات الميكروويف .
 - ج . غير ذلك .
 - د . مكبر قدرة ومذبذباً .
- ٤ . يستخدم العازل في أنظمة اتصال الميكروويف :
 - أ . لتمرير إشارات الميكروويف بالاتجاهين .
 - ب . لتمرير إشارات الميكروويف باتجاه واحد .
 - ج . الأغراض القياسات والتحكم في مستوى إشارات الميكروويف .
 - د . لغير ذلك .
- ٥ . من أقمار الاتصالات :
 - أ . عربسات .
 - ب . كوزموس COSMOS .
 - ج . تيروس TIROS .
 - د . قمر هابل .
- ٦ . من أقمار الأرصاد الجوية :
 - أ . انتلسات .
 - ب . كوزموس COSMOS .
 - ج . قمر هابل .
 - د . Gps NAVASTAR .
- ٧ . يمتد المدار الجغرافي الثابت المستخدم في أنظمة اتصالات الأقمار الصناعية من :
 - أ . 1000km – 500km
 - ب . 5000km – 500km
 - ج . 5000km-12000km
 - د . لمسافة تصل 35768km
- ٨ . من تقنيات الوصول المستخدمة في أنظمة الأقمار الصناعية :
 - أ . FDMA
 - ب . CDMA
 - ج . TDMA
 - د . جميع ما ذكر .

الشبكات الهاتفية

Telephony Networks



مدخل إلى الشبكات الهاتفية

يعدّ الاتصال بين أفراد المجتمع ضرورة أساسية لكل الناس في جميع المجتمعات ومختلف العصور، حيث تبادل الناس الأخبار والمعلومات بوسائل مختلفة، مثل قرع الطبول والإشارات الدخانية والحمام الزاجل، ومن ثم بدأ نظام البريد، وبعدها التلغراف الذي كان يوصل رسائل نصية باستخدام إشارات كهربائية ترمز للأحرف الهجائية، حيث أصبح بالإمكان نقل المعلومات عبر الأسلاك إلى مسافات بعيدة وبسرعة عالية، ولكن ظلت الحاجة الملحة لنقل الصوت وليس فقط الرسائل النصية، وهنا جاء اختراع الهاتف والشبكة الهاتفية لسد هذه الحاجة.

تطورت الشبكات الهاتفية وارتبطت ببعضها، واتسع مدى انتشارها واعتمدت على قواعد موحدة عالمياً مكنتنا من الاتصال بأي شخص في العالم ومحادثة.

إن ثورة الاتصالات التي بدأت بالهاتف، والتي تعددت أوجهها ما زالت مستمرة، وتؤثر تأثيراً مباشراً على حاضرنا ومستقبلنا، ومن هنا سنتناول في هذه الوحدة الشبكة الهاتفية العامة PSTN.

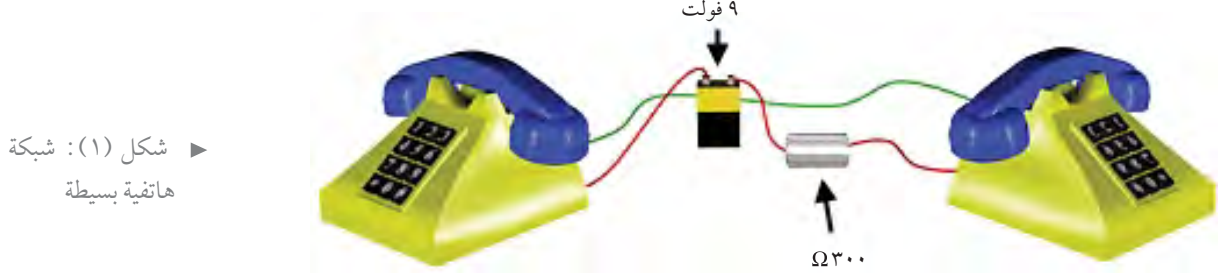
أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

- تتعرف على مكونات الشبكة الهاتفية.
- تتعرف على مكونات وطريقة عمل الهاتف بأنواعه.
- تتعرف على مكونات شبكة التوزيع الهاتفية.
- تتعرف على الأنظمة المكونة للمقسم وأنواع المقاسم.
- تشرح سيناريوهات المكالمات الهاتفية بأنواعها.
- تتعرف على مكونات منظومة التراسل.

تطور الشبكات الهاتفية البدائية

إن أبسط شبكة هاتفية يمكن إنجازها هي ربط جهازي هاتف بوصلة هاتفية وبطارية 9 فولت ، ومقاومة صغيرة حوالي 300 أوم ، كما هو موضح في الشكل (1) :



فبمجرد رفع السماعتين تكتمل الدارة الكهربائية يصبح بالإمكان الحدث بين طرفي هذه الشبكة الهاتفية البسيطة بداية من القطب الموجب للدارة وعبر المقاومة إلى أحد الهاتفين ، ثم عبر السلك الآخر في الوصلة الهاتفية إلى الهاتف الآخر ونهاية بالقطب السالب للبطارية .

مع العلم أننا لا نستطيع أن نستخدم تقنية التقييم بين هذين الجهازين أو حتى سماع نغمة الطلب (Dial Tone) ونغمة الجرس ؛ وذلك لحاجتنا إلى مكونات أخرى تشكل في مجملها الشبكة الهاتفية المتطورة إلا أن هذه الشبكة البسيطة تعدّ النواة الأولى للشبكة الهاتفية العامة PSTN .

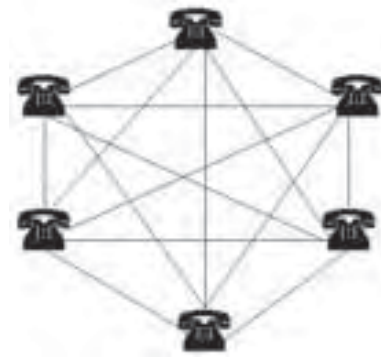
PSTN Public Switched Telephone Network

إن الشبكة البسيطة تصلح لربط هاتفين فقط ولكن ماذا إذا ما رغبتنا بربط أكثر من هاتف في شبكة واحدة؟ لاحظ الشكل (2) .

للإجابة عن هذا السؤال ظهرت شبكات الاتصال البدائية ، حيث كانت جميع أجهزة الهاتف مرتبطة بمكتب مركزي (Central office) يدعى المقسم كما في الشكل (3) ، وفي هذا المقسم يتم وصل الدارة الكهربائية للمتصل بالدارة الكهربائية لوجهة الإتصال يدوياً باستعمال لوح التحويل اليدوي (Manual Switching Bord) .



شكل (٣): مقسم الهاتف



شكل (٢): شبكة هاتفية بدون مقسم

حيث يرتبط هاتف المشترك بزوج من الأسلاك النحاسية إلى لوح التحويل اليدوي في المقسم، وتبين الخطوات الآتية عملية الاتصال في مثل هذه الشبكات :

- ١ . عند رفع سماعة الهاتف تكتمل الدارة الكهربائية بين الهاتف ولوح التحويل اليدوي .
- ٢ . يؤدي ذلك إلى إضاءة مؤشر ضوئي خاص بالزوج النحاسي للمتصل ؛ مما يشير لموظف المقسم بأن المشترك يريد إجراء مكالمة هاتفية .



مقسم يدوي

- ٣ . يقوم الموظف بربط هاتفه إلى وصلة المشترك على لوح التحويل اليدوي ؛ ما يعني اكتمال الدارة بين هاتف المشترك طالب المكالمة وهاتف عامل المقسم ليطلب منه وجهة الاتصال ؛ أي الرقم المطلوب .
- ٤ . يقوم الموظف بربط وصلة وجهة الاتصال (الرقم المطلوب) بدارة كهربائية تصدر تياراً متذبذباً ؛ مما يؤدي إلى رنين هاتف الشخص المطلوب .
- ٥ . عند رفع سماعة الهاتف من قبل الشخص المطلوب تكتمل الدارة الكهربائية بين الهاتف ولوح التحويل اليدوي ، وحينها يربط موظف المقسم وصليتي كلا المشتركين على اللوح بوساطة وصلة هاتفية تكمل الدارة الكهربائية بين الهاتفين ، وبذلك يتم الاتصال .

إلا أن مقاسم التحويل اليدوي كان لها عيوبها ونستطيع أن نقدر الوقت والجهد الذي كان يلزم المتصل لينجح في عملية الاتصال مع مشترك آخر موصل في نفس المقسم اليدوي وزيادة الصعوبة إذا ما كان الرقم المطلوب ينتمي لمقسم آخر .

وبالطبع كلما زادت المسافة بين المقاسم وجب استعمال مقويات للإشارة لتحسين جودة الصوت ، وفوق ذلك كله كانت عملية التحويل تعتمد على العنصر البشري البطيء نسبياً ، والذي كان من الممكن أن يخطيء .

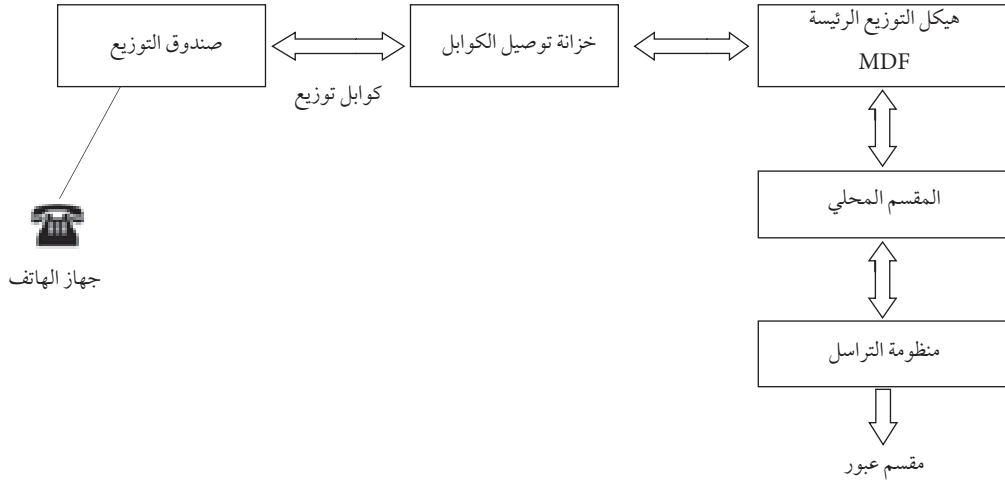
ولحل مشكلة الاعتماد على العنصر البشري (عامل المقسم) في عملية التحويل تم تطوير هذه العملية لتعتمد أسلوب التحويل الكهروميكانيكي ، لكنه لم يساهم كثيراً في حل المشكلات ، وبقيت عملية الاتصال صعبة نوعاً ما . ومع التطور التكنولوجي وزيادة الطلب ظهرت أجيال جديدة من المقاسم الكهروميكانيكية تلتها المقاسم الإلكترونية الحديثة مع بداية استعمال الصمامات الإلكترونية (الترانزستور) ؛ مما ساعد على بناء مقاسم ذات كفاءة وسعة عالية لتحل محل موظف المقسم في ربط خطوط الهاتف للمشاركين ، وبقي المبدأ العام في إتمام المكالمة والذي يعتمد على توصيل خطي طرفي المكالمة عبر دارة كهربائية ثابتاً .

مكونات الشبكة الهاتفية

تتكون الشبكة الهاتفية كما هو مبين في الشكل (4) من المكونات الآتية :

- جهاز الهاتف .
- شبكة التوزيع الهاتفية .
- هيكل التوزيع الرئيس (MDF) .
- المقاسم المحلية ومقاسم العبور ، والمقسم الدولي .
- منظومة التراسل (Transmission Media) .

MDF Main Distribution Frame



شكل (٤) : مكونات الشبكة الهاتفية

جهاز الهاتف

مهما تطور جهاز الهاتف وتنوع خدماته إلا أنه يحتوي على المكونات الأساسية اللازمة لإجراء المكالمات الهاتفية كما في الشكل (5) وأهم هذه الأجزاء الميكروفون، والسماعة، وحدة التنبيه، وحدة الترقيم، ودارة الكلام، والمفتاح الغطاس .



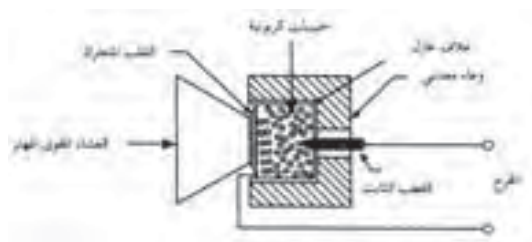
شكل (٥) : أجزاء الهاتف

١. دارة الكلام (speech circuit)

وتتكون من المرسل والمستقبل والمضخم والملف التأثيري .

أ. ميكروفون (microphone) : ومنه أنواع متعددة منها ذلك الذي يعتمد في عمله على حبيبات الكربون؛ والذي يسمى الميكروفون الكربوني .

توجد حبيبات الكربون في غلاف عازل موضوع في وعاء معدني يخترقه مسمار يمثل القطب الاول ، ويمثل الغطاء المتحرك القطب الآخر ، ويتصل مع القطب المتحرك الغشاء المهتز المصنوع من مادة عازلة مقواة كما هو موضح بالشكل (6) :



شكل (٦): ميكروفون كربوني

وتوضح الخطوات الآتية آلية عمل الميكروفون :

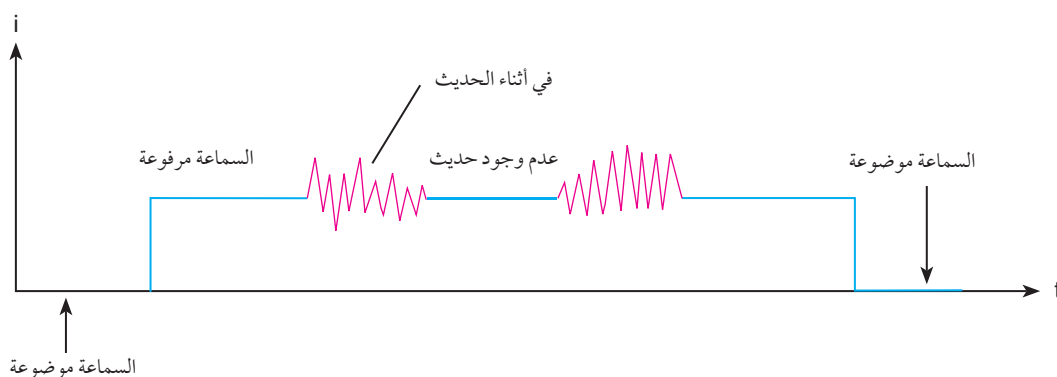
١. تحدث الموجات الصوتية اهتزازات في غشاء الميكروفون الذي بدوره يقارب أو يبعد حبيبات الكربون في الميكروفون بعضها عن بعض .

٢. يؤثر ذلك على قابلية التوصيل في الحبيبات تبعاً لتقارب أو تباعد الحبيبات عن بعضها .

٣. هذا يؤدي إلى تذبذب التيار المار عبر قطبي الميكروفون ممثلاً بذلك الإشارة الصوتية للمتحدث .

وبذلك نحصل على تيار يتناسب مع شدة الصوت الواقع على الغشاء المهتز ، أي إنه يتم تحويل الموجات الصوتية إلى تيار كهربائي يرسل عبر دائرة الهاتف .

يبين الشكل (7) التيار المار في الميكروفون الكربوني في أثناء الحالات المختلفة لجهاز الهاتف :



شكل (٧) :

وقد تطورت الميكروفونات في الهواتف فأصبحت تستخدم الميكروفونات الإلكترونية .

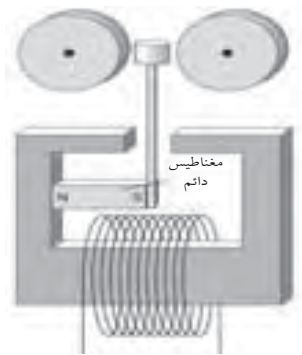
ب. **السماعة (speaker):** وهي تعمل عكس عمل اللاقط حيث تقوم بتحويل الإشارة الكهربائية (التيار المتذبذب) إلى موجة صوتية نسمعها ، ويقوم مبدأ عملها على وجود ملف تمر عبره الإشارة الصوتية فيتحدث مجال مغناطيسي يتنافر ويتجاذب مع مغناطيس مثبت في هيكل السماعة ، حيث إن هذا التنافر والتجاذب يحرك معه غشاء السماعة محدثاً اهتزازات تنتقل في الهواء على شكل موجات صوتية مسموعة ، ويبين الشكل (8) تركيب السماعة .



شكل (٨):

ج. الملف التأثري ودارة التنظيم: وتتكون من الملف التأثري الذي يقوم بمنع تيار الإرسال من المرور في وحدة الاستقبال ودارة التنظيم التي تتصل على التوازي مع كل من الميكروفون والسماعة لتعمل على ضبط مستوى الصوت الصادر أو الوارد إلى جهاز الهاتف مهما اختلف بُعد الجهاز عن المقسم.

٢. وحدة التنبيه (الجرس) (Ringer)



شكل (٩): الجرس ذو الناقوسين

تصنع وحدة الجرس بأشكال مختلفة أبسطها الجرس ذو الناقوسين الذي يعتمد على اختلاف القطبية في طرفي قلب حديدي على شكل U أثناء تغير مرور التيار في الملف؛ مما يجعل المطرقة تطرق الناقوس الأول ثم الآخر، ويوضح الشكل (9) هذا النوع.

وفي الهواتف الإلكترونية الحديثة ينتشر النوع الإلكتروني من وحدات التنبيه (الجرس) حيث تتكون هذه الوحدات من دارات إلكترونية تقوم باستقبال تيار التنبيه المتناوب المرسل من المقسم وتحويله إلى تيار مستمر لتشغيل دائرة التنبيه.

٣. قرص الطلب أو لوحة الأرقام

لكل خط هاتف موصول رقمًا يميزه عن غيره في الشبكة الهاتفية؛ ولذلك فإن أي جهاز هاتف لا بد وأن يكون من مكوناته ما يساعد في عملية طلب الأرقام، وقد قسمت أجهزة الهواتف بناء على طريقة طلب الأرقام كالآتي:

أ. جهاز الهاتف القرصي: هو النوع القديم والذي كان يعتمد في عملية طلب الرقم على تقسيم تيار المستمر (DC) إلى نبضات تمثل الرقم المطلوب، ويتم إرسالها إلى المقسم فمثلاً يتم إرسال نبضة واحدة للرقم (1) ونبضتين للرقم (2) ... وهكذا. لاحظ الشكل (10).



شكل (١٠): جهاز الهاتف القرصي



ب. جهاز الهاتف ذوالكبسات : تحتوي وحدة الترميم على كبسة لكل رقم من صفر إلى تسعة بالإضافة إلى كبستي النجمة * والسلم # ويتم تمثيل كل كبسة بإشارة هي عبارة عن نغمتين ذات ترددتين مختلفين (إحدى هاتين النغمتين تنتمي لمجموعة من الترددات العالية، والنغمة الأخرى تنتمي لمجموعة من الترددات المنخفضة) كما هو موضح في الجدول الآتي :

النجمة(*) والسلم(#) تستخدم في بعض الخدمات الخاصة داخل الشبكة.

	1209Hz	1336Hz	1477Hz
697Hz	1	2	3
770Hz	4	5	6
852Hz	7	8	9
941Hz	*	0	#

نشاط (١):

ابحث عن بعض الخدمات التي تستخدم النجمة (*) والسلم (#).

فمثلاً، عند الضغط على الكبسة الخاصة بالرقم واحد يولد نغمتان ترددهما (697 و 1209) هيرتز، حيث يستقبل المقسم هذه الإشارات ويحللها لإتمام عملية الاتصال.

ويتضح أن وحدة الترميم تتكون من لوحة الكبسات ودارات إلكترونية مثبتة على اللوحة الإلكترونية الرئيسة، وبما أن كل رقم يحتاج إلى ترددتين لتمثيله فقد سميت أجهزة الهاتف ذات الكبسات التي تستخدم هذا النمط من وحدات الترميم، أجهزة هاتف الكبسات ذات النغمة المزدوجة متعددة الترددات DTMF.

ويمكن أن تعمل أجهزة هواتفنا الإلكترونية بتوليد النبضات كما في الهاتف القرصي، وذلك بتغيير أحد المفاتيح الخاصة في جهاز الهاتف من DTMF إلى PULSE (نبضة)، وتتم عملية توليد النبضات إلكترونياً.

٤. المفتاح الغطاس (Hook Switch)

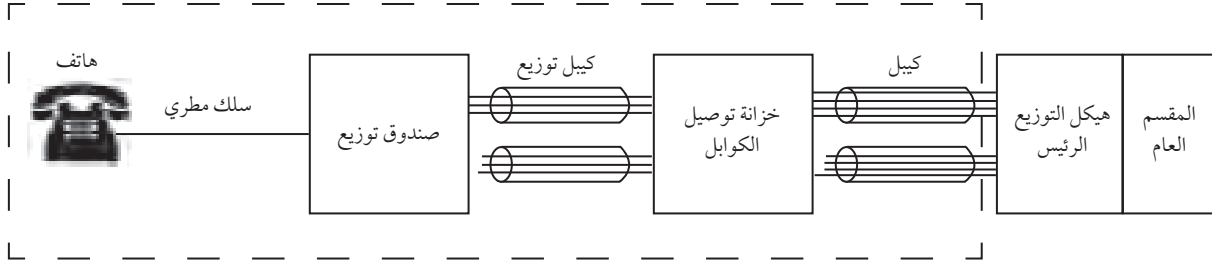
DTMF Dual Tone Multi Frequency

- وهو مفتاح يحتوي على مجموعة الملامسات، ويقوم بالوظائف الآتية.
- وصل دائرة التنبيه وفصل دائرة الكلام عندما تكون السماع مرفوعة.
- فصل دائرة التنبيه ووصل دائرة الكلام عندما تكون السماع مرفوعة.

شبكة التوزيع الهاتفية

تتكون من الوصلات والصناديق والكوابل وخزائن التوزيع، والشكل (11) يوضح الأجزاء الرئيسة لشبكة التوزيع الهاتفية.

شبكة التوزيع



شكل (١١): شبكة التوزيع الهاتفية

يتم توصيل جهاز الهاتف بالوصلة الهاتفية برأس توصيل موحد عالمياً يدعى RJ11. الموضح بالشكل (12):



شكل (١٢): وصلة هاتفية

ويتم وصل الطرف الآخر بمقبس الهاتف، ومن ثم بسلك زوجي يدعى السلك المطري (Drop Wire)، وهو مكون من زوج أسلاك نحاسية مغلف بمادة عازلة (بلاستيكية) ذات قدرة على مقاومة العوامل الجوية المختلفة من حرارة ورطوبة إلى صندوق توزيع مثبت على عامود خشبي غالباً ويصنع هذا الصندوق من البلاستيك المقوى.

وتعتمد سعة صندوق التوزيع على عدد المشتركين الذين يتوقع أن يخدمهم وذلك حسب خطط خاصة يقوم مهندسو تخطيط الشبكة بإعدادها، والتأكد من إعطاء كل صندوق رقماً يميزه في الشبكة، كما يوضح الشكل (13). يتسع الصندوق عشرين خطاً ويمثل كل خط بزوج من الأسلاك موصل على لوح تثبيت في الصندوق كما هو موضح بالشكل (13).



شكل (١٣): صندوق توزيع

ويتم ربط مجموعة من الصناديق بخزانة توزيع رئيسة (خزانة توصيل الكوابل) عن طريق كابل توزيع يتفرع عنه كابل صغير لكل صندوق، ويوضح الشكل (14) خزانة التوزيع.

ترتبط خزانة التوزيع مع هيكل التوزيع الرئيسية MDF بكيبل رئيسي ذي سعة كبيرة .

ومن هنا يتضح أن هناك ساعات مختلفة للكوابل تختلف باختلاف اهداف استعمالها فمثلاً تستخدم الكوابل ذات الساعات الصغيرة نسبياً من عشرة أزواج حتى مئة زوج ككوابل فرعية ، أما الكوابل ذات سعة 2000 أو 4000 خط فتستخدم ككوابل رئيسة .



شكل (١٥): هيكل التوزيع الرئيسي



شكل (١٤): خزانة توزيع

MDF Main Distribution Frame

هيكل التوزيع الرئيسي (MDF)

يتكون هيكل التوزيع الرئيسية (MDF) من قوائم معدنية عمودية وأفقية مثبتة بشكل جيد ، ويوجد على هذه القوائم حوامل وتوصيلات ، كل حامل يمكن أن يتسع لمئة خط (زوج) كما هو موضح في الشكل (15).



شكل (١٦): هيكل التوزيع الرئيسي

وتكون هذه القوائم في الطابق الأرضي لأبنية المقاسم عادة مع وجود غرفة تحتها (تحت الأرض) تدعى المنهل الرئيسي لتجميع الكوابل .

يتم ربط نهايات الكوابل القادمة من المقسم (الموصلة بكرتات المشتركين في المقسم المحلي) على أحد وجهي هيكل التوزيع ، في حين تربط الكوابل الرئيسية (الموصلة بشبكة التوزيع الهاتفية) على الوجه الآخر لهيكل التوزيع ، ويتم التوصيل بينهما بواسطة أسلاك نحاسية (Jumper) كما هو موضح بالشكل (16) .

ويحرص دائماً على استعمال معدات حماية خاصة مكونة من دارات كهربائية يتم توصيلها على خطوط المشتركين في هيكل التوزيع الرئيس لحماية أجهزة المقسم من التيارات والفولتيات العالية التي يمكن أن تنشأ عن طريق تماس أسلاك الخطوط الخارجية بشبكة الكوابل الكهربائية ، أو من الصواعق في فصل الشتاء .

قم بزيارة ميدانية لشبكة التوزيع الهاتفية في محيط مدرستك .

المقاسم (Switches)

كان الجيل الأول من المقاسم (المقاسم اليدوية) يتيح ربط المشتركين بمساعدة عامل المقسم ، ومن عيوب هذه المقاسم :

- ١ . كان يجب وضعها في موقع متوسط بين منازل المشتركين لضمان توزيع الخدمة بأقصى تغطية ممكنة حيث إن الإشارة الكهربائية تضعف كلما زاد طول السلك النحاسي الذي تمر فيه .
- ٢ . ذات سعة قليلة نسبياً ، ولم تكن تكفي لسد حاجة الأعداد المتزايدة من المشتركين .
- ٣ . في حالة طلب مشترك في مدينة أخرى كان يجب أن تكون المقاسم مرتبطة فيما بينها ، ويتم التحويل يدوياً من مقسم لآخر .
- ٤ . اعتمادها على العامل البشري والوقت المستغرق قبل البدء بالمكالمة .

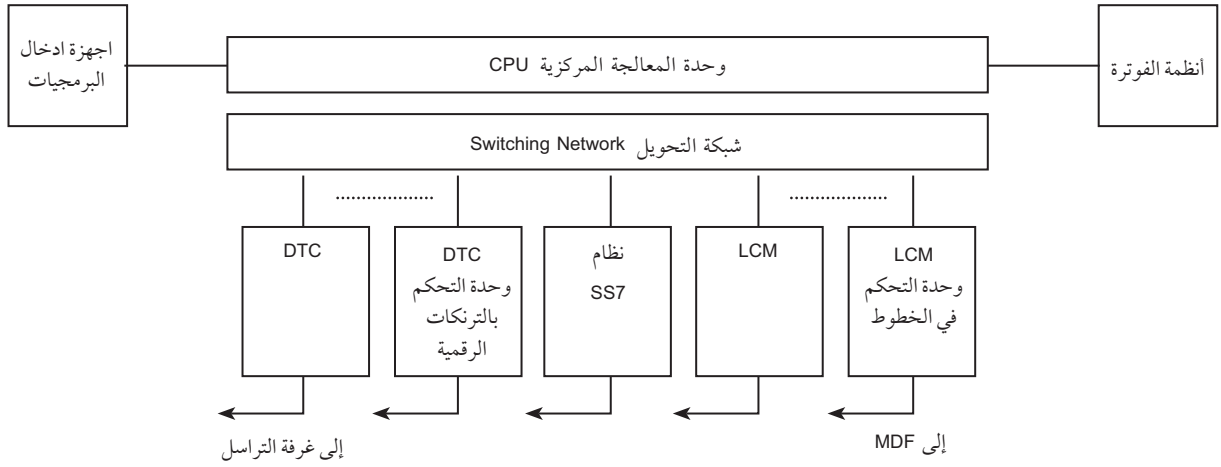
ورغم بطئها وإمكانيات الأخطاء التي كانت تحدث في أثناء تحويل المكالمات إلا أنها كانت اللبنة الأساسية في عملية تطوير المقاسم .

ظهر الجيل الثاني باختراع المقاسم الكهروميكانيكية والتي وفرت إمكانية ربط المشتركين مع بعضهم دون تدخل العامل البشري ، وكانت تعتمد تلك المقاسم في عملها على أجزاء كهروميكانيكية تحقق هذا الهدف . ومع التطور الكبير في الحواسيب والبرمجيات ودخولها في مجال الاتصالات فقد تم تطوير وحدات التحكم المركزية في المقاسم لتعتمد على أجهزة الحاسوب ، وتم تطوير برامج حاسوبية خاصة لتخدم أغراض التحويل (switching) والتحكم في أجزاء المقاسم وبهذا بدأت ولادة الجيل الثالث المعروف بالمقاسم الإلكترونية التماثلية .

ومع التقدم العلمي الذي تحقق في تحويل الإشارة التماثلية (Analog) إلى رقمية (Digital) باستخدام آليات التضمين النبضي المرمز (PCM) ظهرت المقاسم الرقمية (Digital switches) .

المقسم الرقمي وأنظمتة الرئيسية

إن المقاسم في الشبكة الهاتفية هي الجزء الذي يعمل على التحكم وإدارة هذه الشبكة بأجزائها المختلفة ، وبآليات تهدف إلى تقديم الخدمة الهاتفية للمشاركين بالشكل المطلوب . الشكل (17) يبين الوحدات الرئيسية للمقسم .



شكل (١٧): مخطط صندوقي للمقسم الرقمي

يتكون المقسم من عدد من الأنظمة التي تتكامل فيما بينها، وهذه الأنظمة هي :

- أنظمة التعامل مع المشترك .
- أنظمة الترميم .
- أنظمة البرمجيات الخاصة .
- نظام الإشارة للقناة المشتركة .
- أنظمة الفوترة .

أنظمة التعامل مع المشترك

وتتكون من كرت المشترك، ووحدات التحكم بالخطوط الهاتفية، ووحدات التحكم بالترنكات الرقمية .

١ . كرت المشترك : يتكون من دارات إلكترونية على شكل كرت كما هو موضح في الشكل (18) :

يتم وضع الكرت في جزار مصمم لهذه الغاية، ويمكن أن يحوي الجزار في بعض أنواع المقاسم المحلية على 32 كرتاً . ويوضح الشكل (19) أحد الجزارات :



شكل (١٩): جزار كراتات المشتركين



شكل (١٨): كرت المشترك

ويصل كل كرت إلى كيبول توصيل خاص بين كل جرار وحوامل التوصيلات المثبتة على لوحات التوزيع الرئيسية.



شكل (٢٠): وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية

٢. وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية (LCM): يتم تجميع

الجرارات في هياكل يتسع كل هيكل لعدد من الجرارات ويعتمد

هذا العدد على نوع المقسم من حيث الشركة المصنعة إلا أن

جميع المقاسم المحلية تعتمد على المبدأ ذاته.

ويحمل كل كرت رقمًا يدعى رقم الخط (Line Number)، يختلف عن

رقم الهاتف، ويتكون هذا الرقم من ثلاثة أجزاء:

■ رقم الكرت داخل الجرار.

■ رقم الجرار داخل وحدة التحكم.

■ رقم وحدة التحكم في المقسم.

فمثلاً: رقم الخط 12-9-05 يعني الكرت الذي رقمه 12 في الجرار رقم 9 في الوحدة الخامسة.

أن هذا الترقيم يستخدم داخلياً في عمليات التشغيل والصيانة والمتابعة لخطوط المشتركين في الشبكة الهاتفية.

ويقوم مهندسو المقاسم بالتأكد من وضع العلامات الخاصة بأرقام الوحدات والجرارات في المقاسم منذ إنشائها.

ويتصل الكرت بدارات أخرى في المقسم إحداها دائرة الجرس. وتتصل جميع وحدات التحكم بالخطوط



شكل (٢١): وحدات التحكم بالترنكات الرقمية

الهاتفية (LCM) ببعضها عن طريق وحدات الشبكة الداخلية للمقسم.

٣. وحدات التحكم بالترنكات الرقمية DTC: يرتبط بالشبكة

الداخلية للمقسم وحدات تدعى وحدات التحكم بالترنكات

الرقمية DTC، وتحوي كل وحدة على كرات خاصة تستخدم

لتشغيل PCM، كما في الشكل (21):

تعمل هذه الوحدات على تشغيل ال E1's والذي يتكون من 30 قناة هاتفية.

بالرغم من امتداد الترددات السمعية لغاية 20 كيلو هيرتز فقد اعتمد

النطاق من 300Hz إلى 3400Hz لتمثيل القناة الهاتفية، حيث وجد أن معظم

الطاقة الصوتية تتركز ضمن هذا النطاق كما هو موضح في الشكل (22):

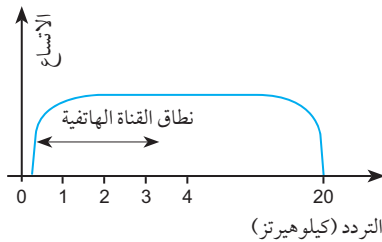
لذلك فإنه يتم تصفية الإشارة الصوتية المارة من المرسل

(الميكروفون) عند 4000Hz وطبقاً لنظرية أخذ العينات فإن هذه الإشارة

الصوتية تحتاج إلى قناة ذات عرض ترددي بمقدار ضعف تردد الإشارة

المنقولة؛ أي 8000Hz، وهذا العرض الترددي أصبح مقياساً عالمياً في

تحديد قنوات الاتصال كما سنرى فيما بعد.



شكل (٢٢):

ويوجد نظامان عالميان لتجميع القنوات كالتالي :

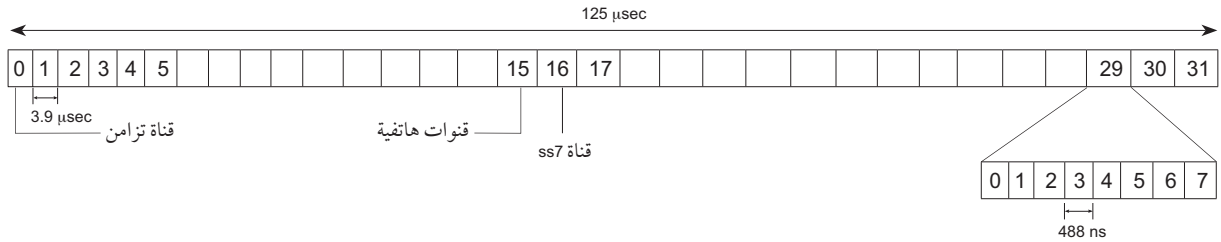
■ إطار التجميع (E1)، وهو المعتمد أوروبياً ، ويتكون من 32 قناة توزع على النحو الآتي :

30 قناة هاتفية تستخدم لنقل الإشارات الصوتية أو المعلوماتية وقناة للترزامن ، والأخرى لنظام إشارة SS7 .
يقسم الزمن المخصص 32 قناة والذي يساوي 125μsec .

يحسب زمن كل قناة كالتالي :

$$\frac{125 \mu \text{ sec}}{32} = 3.9 \mu \text{ sec}$$

تتكون كل شريحة زمنية من 8 خانات ثنائية (bit) ، وبذلك يكون الزمن المخصص لكل خانة $488 \text{ ns} = \frac{3.9 \mu \text{ sec}}{32}$
لكل خانة ثنائية واحدة ، كما في الشكل (23) .



شكل (٢٣) : إطار التجميع E1

ولأن تردد أخذ العينات للإشارة الصوتية حسب نظرية أخذ العينات هو 8000Hz ، ويوجد في كل شريحة 8 ثنائيات .

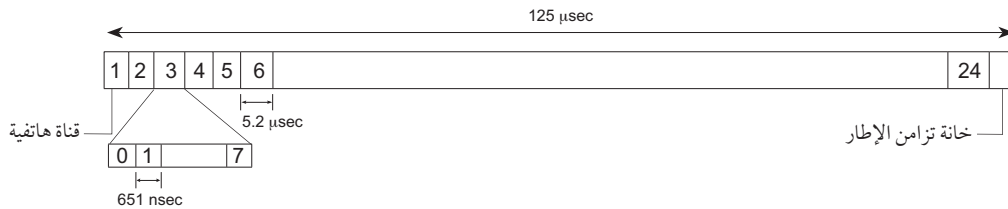
فإن تردد كل قناة 8 ثنائيات $64 \text{ KHz} = 8000 \text{ Hz} \times 8$ وهو معدل تمرير المعلومات في القناة . وإذا احتسبنا هذا المعدل لجميع القنوات التي يتكون منها ال E1 فإن معدل تمرير المعلومات في ال E1 كالتالي :

$$2.045 \text{ Mbps} = 64 \text{ KHz} \times 32 \text{ (قناة)}$$

إطار التجميع (T1)، وهو المعتمد أمريكياً : يتكون من ٢٤ قناة تستخدم لنقل الإشارات الصوتية أو المعلوماتية ويضاف في كل إطار خانة ثنائية واحدة (Bit) تدعى خانة تزامن الإطار Framing bit وبهذا يكون معدل نقل المعلومات في هذا النظام كالتالي :

$$[24 \text{ قناة (شريحة زمنية)} \times 8 \text{ ثنائيات}] + 1 = 193 \text{ ثنائية}$$

$$1.544 \text{ Mbps} = 8000 \text{ Hz} \times 193 \text{ ثنائية}$$



شكل (٢٤) : إطار التجميع T1

ويعتمد وجود وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية LCM في المقسم على وظيفة المقسم في الشبكة الهاتفية فمثلاً لا يمكن أن تحتوي مقاسم العبور (المقاسم الوطنية أو الدولية) والتي وظيفتها تسيير المكالمات بين المقاسم المحلية على مثل هذه الوحدات، في حين يتوفر بها عدد كبير من الوحدات الخاصة بالتحكم بالترنكات الرقمية DTC.

أنظمة البرمجيات الخاصة بالمقسم

هي برمجيات خاصة تسهل المهام الآتية :

١. عمل الإعدادات اللازمة لأرقام الخطوط وربطها بأرقام الهواتف في الشبكة وكذلك الإعدادات اللازمة للوصلات التراسلية ولأنظمة الإشارة SS7.
٢. إظهار المشكلات الخاصة بأي وحدة من الوحدات التي يتكون منها المقسم.
٣. تسجيل وتوضيح المشكلات الخاصة بالوصلات التراسلية الخارجية.
٤. إظهار وتوضيح المشاكل الخاصة بالمشارك.
٥. تعريف المسارات الخاصة بالمكالمات من خلال القنوات المتاحة (PCM channels).

أنظمة الفوترة

وهي عبارة عن نظام تسجيل للمكالمات الصادرة من المقسم أو المارة من خلاله ويرتبط النظام بقاعدة بيانات تحتوي على الحقول الآتية :

١. الرقم الطالب .
٢. الرقم المطلوب .
٣. وقت بدء المكالمات .
٤. تاريخ بدء المكالمات .
٥. مدة المكالمات .



شكل (٢٥): نظام فوترة

وتخزن هذه المعلومات على قرص صلب (Hard disk) في المقسم، ويتم نقله إلى أجهزة خاصة بالتحليل وقراءة المكالمات لتحويلها فواتير للمشاركين، وتتم عملية نقل المعلومات عادة بالطرق الآتية :

- نقل المعلومات عن طريق شبكة البيانات .
- قراءة المعلومات بواسطة أشرطة مغناطيسية خاصة ومن ثم نقل هذه الأشرطة ليتم تحليلها، ويبين الشكل (25) أحد أنظمة قراءة الفوترة والذي يعتمد على الأشرطة المغناطيسية في المقاسم .

أنظمة الترقيم

لكل هاتف مشترك رقم يميزه عن الأرقام الأخرى، ولكل مقسم محلي داخل الشبكة مدى رقمي معين حسب خطة ترقيم تقوم وزارة الاتصالات في كل دولة بتنظيمها .

ويعتمد عدد الأرقام في المدى الرقمي لكل مقسم على سعة المقسم فمثلاً المدى الرقمي لمقسم رام الله المحلي المركزي هو كالآتي (295xxxx , 296xxxx, 297xxxx, 298xxxx)؛ مما يعني توفر 40000 رقم هاتفي أما في المقاسم التي تخدم بلدات صغيرة نسبياً فالمدى الرقمي سيكون محدوداً نوعاً ما .

ولتنظيم عملية الترقيم تقسم المساحة التي تغطيها الشبكة الهاتفية إلى عدة مناطق اتصال ، تعطى كل منطقة رمزاً معيناً (Code) .

ففي فلسطين نظمت رموز المناطق كما هو موضح في الجدول الآتي :

970	02	295	xxxx	منطقة جنين	04
الرمز الدولي	رمز المنطقة	رقم المقسم	رقم الهاتف	منطقة نابلس وطولكرم	09
				منطقة الوسط وجنوب الضفة	02
				منطقة غزة	08

ولكل دولة في العالم رمز يسمى الرمز الدولي يقوم الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU-T) بتنظيمه ويستخدم أثناء عملية الاتصال الدولي للاستدلال على الدولة ، ومن ثم الشبكة ألهاتفية للمشارك المشترك المطلوب . فالرمز الدولي لفلسطين هو 970 ، ولالأردن 962 ، ولمصر 20 ، ولتونس 216 .

نظام الإشارة للقناة المشتركة (Common Channel Signaling System No. 7 (SS7 or C7)

وهو مجموعة من البروتوكولات تستخدم في التحكم في عملية بدء المكالمات وتحديد مسارها بين المقاسم وإنهاءها اعتماداً على شبكة من القنوات الرقمية الموصلة بين المقاسم من خلال تبادل رسائل إشارات خاصة (Signaling messages) .

الشبكة الذكية : هي مجموعة أنظمة متطورة تتفاعل لتعطي إمكانية أكبر في التحكم في المكالمات الهاتفية لتفعيل خدمات خاصة .
الأرقام المجانية في فلسطين تبدأ بالمدى الرقمي 1800xxxxxx .

وكانت شركة AT&T الأمريكية أول من اخترع هذا النظام عام 1975م والذي اعتمده الاتحاد الدولي للاتصالات فيما بعد لينتشر عالمياً .

وتستخدم هذه الآلية للمكالمات التي تعبر بين المقاسم .

ويتميز هذا النظام بالعديد من المزايا والتي أدت إلى انتشاره عالمياً أهمها :

١ . سرعة عالية في عملية التجهيز للمكالمة Call Setup .

٢ . فاعلية أكثر في استخدام القنوات الصوتية .

٣ . تدعم الشبكة الذكية وخدماتها الخاصة ، مثل :

- الرقم المجاني Toll Free ، وبهذه الخدمة لا يتم احتساب المكالمات على المشترك كالمكالمات العادية .
- خدمة المكالمات مسبقة الدفع ، مثل خدمات الهواتف مسبقة الدفع ، أو ما يسمى في الاتصالات الفلسطينية بخدمة المحسوب ، وكذلك بطاقات الدفع المسبق .

٤ . فعالية في التحكم في المكالمات الهاتفية ومنع غير المرغوب بها .

٥ . توفير آلية للتحكم بالشبكة الهاتفية فعند وجود مشكلة في الاتصال بين مقسمين مثلاً يقوم مهندسو المقاسم بتحليل رسائل الإشارات لمعرفة المشكلات وحلها ، ويتكون هذا النظام من :

■ أداة ربط الإشارة (Signaling Link) : هي قنوات ذات اتجاهين تستخدم لتمرير الإشارات بين عناصر الشبكة بمعدل نقل معلومات 64 كيلوبت/ الثانية .

■ نقطة الإشارة (Signaling point) : في شبكة إشارة القناة المشتركة SS7 ، يمثل كل مقسم برقم محدد وعالمي يدعى رمز نقطة الإشارة signaling point code ، ويحدد كل رمز وظيفة المقسم داخل الشبكة ، وهناك ثلاثة أنواع من نقاط الإشارة :

SSP Service Switching Point

STP Service Transfer Point

SCP Service Control Point

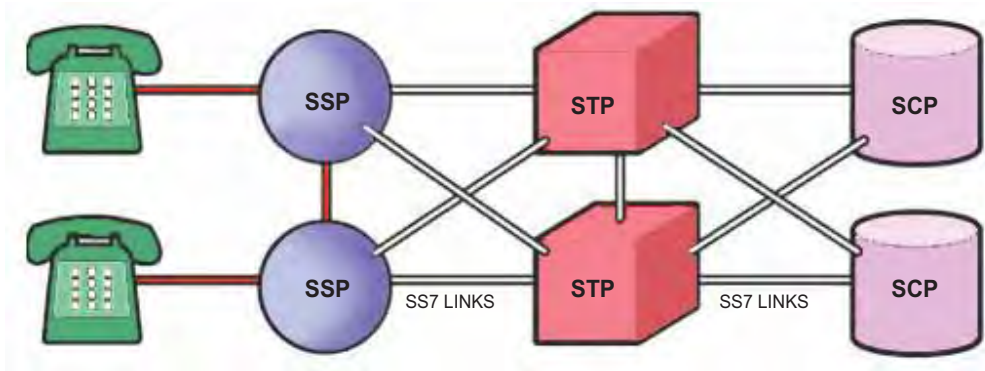
١ . نقطة تحويل الخدمة SSP : تستخدم في المقاسم المحلية .

٢ . نقطة نقل الخدمة STP : تستخدم في مقاسم العبور

أو المقاسم الدولية التي تقوم بتسيير المكالمات الهاتفية بين المقاسم .

٣ . نقطة التحكم بالخدمة SCP : تستخدم في آلية العمل الخاصة بربط الشبكة الذكية بشبكة الاتصالات العامة .

ويتم وصل جميع المكونات عن طريق أداة ربط الإشارة كما هو موضح بالشكل (26) :



شكل (٢٦) : نظام الإشارة للقناة المشتركة

نشاط (٣) :

راجع مركز خدمات المشتركين لشركة الاتصالات في منطقتك لمعرفة الخدمات التي تقدمها الشبكة .

المقسم الفرعي الداخلي الخاص PBX

PBX Private Branche
Exchange

ويستخدم في المؤسسات والشركات وتتصل به شبكة داخلية صغيرة تمتد عادة في مبنى واحد، وتمتاز مثل هذه المقاسم بسعة محدودة وأنواع مختلفة، واختلاف الخدمات التي يمكن أن توفرها، ويمكن أن يتسع الواحد منها لمئة رقم أو أكثر. ويلزم لربط هذه الشبكة الداخلية الصغيرة مع الشبكة الهاتفية العامة ما يأتي:

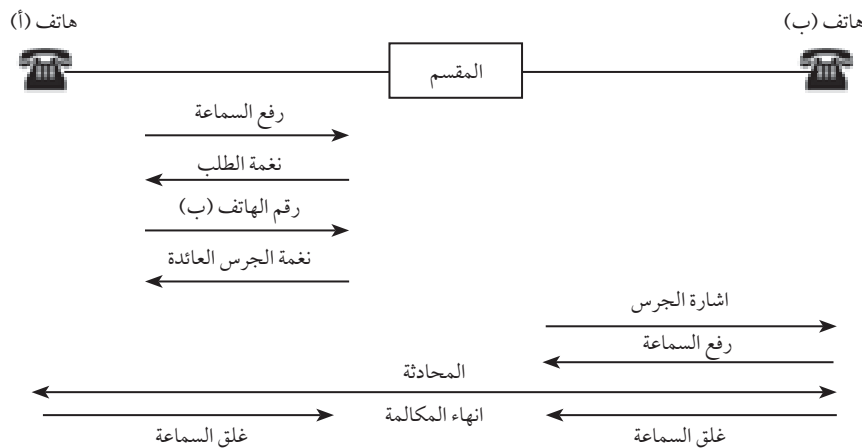
١. مدى رقمي محدد يتم تعريفه على المقسم المركزي، ويتم التعامل معه كأرقام شبكة داخلية خاصة.
٢. وصل المقسم الفرعي الداخلي PBX بالمقسم المركزي إما بعدد خطوط هاتفية عادية أو بإطار E1 أو أكثر. وتقوم البنوك والمؤسسات بالاستفادة من مميزات هذه الشبكات، وهي:
١. لا تدفع المؤسسات والبنوك لشركة الاتصالات نظير المكالمات الداخلية بين أرقام الشبكة الداخلية وإنما يلزم ذلك للمكالمات الخارجة منها.
٢. إمكانية التحكم بأرقام الشبكة الداخلية من قبل الفني التابع للمؤسسة أو الشركة. فمثلاً يمكن فصل إمكانية الاتصال الوطني، أو الدولي عن أي من الخطوط التابعة للشبكة الداخلية على المقسم الداخلي مباشرة، في حين يلزم عند وجود خطوط مباشرة القيام بذلك من قبل شركة الاتصالات.
٣. إمكانية إصدار تقارير عن حركة الاتصال وفواتير داخلية للمكالمات الحاصلة دون الرجوع إلى شركة الاتصالات.
٤. يمكن أن تعمل بها أنواع مختلفة من أجهزة الهاتف من العادية والرقمية وأجهزة نقل الصورة وأجهزة نقل البيانات. ويلاحظ أنه يلزم للاتصال من الشبكة الداخلية إلى أي رقم آخر داخل هذه الشبكة لثلاث أو أربع خانات أرقام فقط.

سيناريو المكالمات الهاتفية

سيناريو المكالمات الهاتفية في حالة كان الرقم المطلوب في نفس المقسم الذي ينتمي له الرقم الطالب، ويمكن توضيح ذلك بالخطوات الآتية:

١. في حالة رفع السماعه يزود المقسم الهاتف بتيار 50mA وفولتية 48v-.
٢. تكتشف وحدات التحكم في المقسم هذه الحالة، وتقوم بإرسال نغمة الطلب (Dial Tone)، وهي النغمة التي نسمعها عند رفع سماعه الهاتف. وتعني أن المقسم جاهز لإستقبال رقم الهاتف المطلوب، وهذه الإشارة تتكون من ذبذبتين إحداهما 350Hz والأخرى 440Hz.
٣. بعد طلب المشترك الرقم المطلوب تقوم وحدة التحكم بتحديد ما إذا كان الرقم المطلوب يقع ضمن المدى الرقمي للمقسم نفسه أم لا وإذا كان تابعاً للمقسم نفسه فتسمى المكالمات مكالمات محلية.

- ٤ . تقوم وحدة التحكم بفحص قاعدة البيانات لتستطيع ربط الهاتف المطلوب برقم خطه في المقسم .
- ٥ . يتم فحص حالة الرقم المطلوب فإذا كان غير مشغول تقوم وحدة التحكم بإرسال إشارة الجرس (Ringing signal) ، وهي إشارة كهربائية متردده AC بفرق جهد 90 فولتاً ، وهذه الإشارة قادرة على تشغيل دائرة الرنين في جهاز الهاتف للرقم المطلوب ، وفي نفس الوقت ترسل وحدة التحكم نغمة الجرس العائد (Ring Back tone) للمشارك الطالب .
- ٦ . عند رفع سماعة هاتف الرقم المطلوب تفتح دائرة الكلام بين خط هاتفه وخط الهاتف الطالب ، ومن ثم تنقل الإشارات الصوت عن طريق وحدة التحكم .
- ٧ . إذا كان الخط مشغولاً فإن وحدة التحكم في المقسم تقوم بإصدار نغمة خاصة تدعى نغمة الخط المشغول ، وهي نغمة يعيدها المقسم إلى المشترك عندما يطلب رقماً مشغولاً ، وتتكون من ذبذبتين 480Hz و 620Hz وتكون هذه النغمة متقطعة على فترات بمقدار نصف ثانية .
- ٨ . ويتم إنهاء المكالمة بعد تحسس المقسم لإغلاق السماعة عند أحد الطرفين ، ويوضح الشكل (27) هذه الخطوات .



شكل (٢٧) :

نشاط (٤):

في حال رفع السماعة يزود المقسم الهاتف بفولتية 48V- ، لماذا؟ .

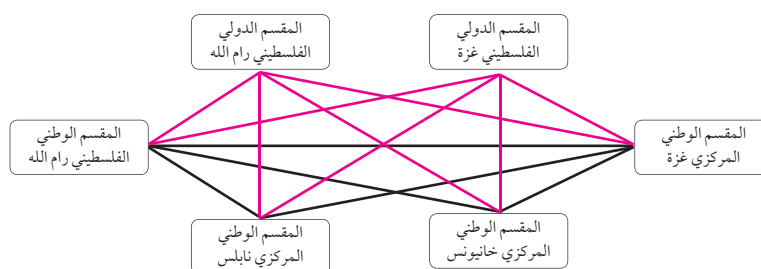
- ١ . في حالة رفع السماعة تكتشف وحدات التحكم في المقسم هذه الحالة ، وتقوم بإرسال نغمة الطلب Dial tone كما في الحالة السابقة .
- ٢ . بعد طلب المشترك الرقم المطلوب تقوم وحدة التحكم بتحديد أن الرقم المطلوب لا يقع ضمن المدى الرقمي للمقسم ، ويقع ضمن مدى رقمي لمقسم آخر .

٣ . تقوم وحدة التحكم بتفعيل دائرة إشارات SS7 مع المقسم الذي ينتمي إليه الهاتف المطلوب إما بشكل مباشر إذا توفر رابط إشارة مباشر مع المقسم المطلوب باستخدام نظام إشارة SSP . أو عن طريق مقسم عبور باستخدام نظام إشارة STP إذا لم يتوفر رابط مباشر ، وكذلك الحال في تمرير المكالمات الدولية عن طريق المقاسم الدولية في الشبكة .

٤ . ترسل الإشارات متضمنة الرقم المطلوب ، ويتم تفعيل وحدة التحكم في المقسم المطلوب لإرسال نغمة الجرس إذا لم يكن الرقم المطلوب مفصلاً أو مشغولاً .

٥ . يتم فتح قناة هاتفية بمعدل تمرير 64 كيلوبت لكل ثانية . من خلال مجموعة الـ E1's المعرفة لتمرير الحركة الهاتفية على المقسم المطلوب . وترتبط المقاسم ببعضها بشبكة من الوصلات التراسلية ، ويوضح الشكل (28) مقاسم العبور والمقاسم الدولية في شبكة الاتصالات الفلسطينية :

► شكل (٢٨) :



٦ . عند إنهاء المكالمات تقوم وحدة التحكم في المقسم الذي ينتمي له الرقم المغلق لسماعته أولاً ، ببعث إشارة من خلال رابط الإشارة للمقسم الآخر لإغلاق القناة الهاتفية وإنهاء المكالمات .

منظومة التراسل (Transmission Media).

تشكل الوصلات التراسلية ذلك الجزء من الشبكة الذي تقوم مهمته على إتمام عملية ربط المقاسم فيما بينها ، ولهذا توجد غرفة تدعى غرفة التراسل بجانب أي مقسم مهما كان نوعه أو مهمته داخل الشبكة الهاتفية ، وهي عبارة عن غرفة مكونة من أجهزة تراسل ووحدات خاصة تكون نهاياتها موصلة بالوصلات التراسلية .

وتحتوي غرفة التراسل على أنظمة التجميع ، والتي تكون مهمتها تجميع المعلومات على شكل قابل للنقل عبر الأنواع المختلفة للوصلات التراسلية ، وعملية التجميع للمعلومات المرسل من المقاسم التماثلية والرقمية ضرورية لزيادة السعة عن طريق دمج عدد كبير من القنوات على نفس خط النقل ؛ مما يؤدي إلى تقليل تكلفة النقل .

أنظمة التجميع

نظام التجميع التماثلي

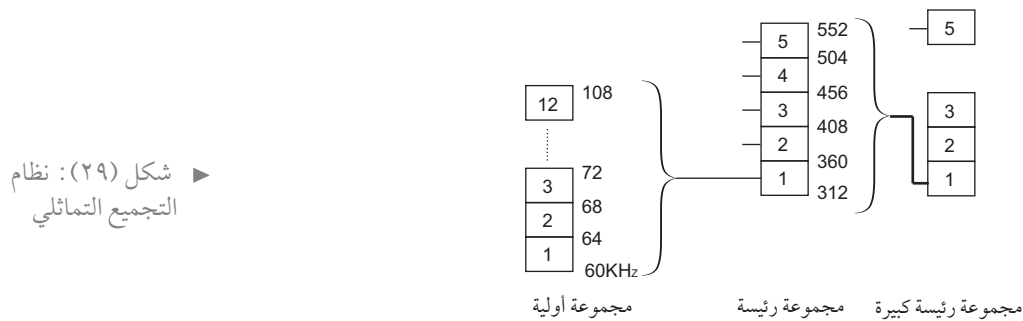
هو نظام يعتمد على تقسيم النطاق الترددي (FDM) ، وكان يستخدم قديماً ، وفيه يتم التجميع على النحو الآتي :

■ يتم تجميع كل 12 قناة للحصول على المجموعة الأولية بنطاق ترددي من 60KHz إلى 108KHz.

- يتم تجميع كل خمس مجموعات أولية للحصول على مجموعة رئيسية تحوي على 60 قناة . بنطاق ترددي من 312KHz إلى 552KHz .
- يتم تجميع كل خمسة من هذه المجموعات الرئيسية للحصول على مجموعة رئيسية كبيرة تحتوي على 300 قناة ، وفي جهة الاستقبال يتم إعادة الحصول على القنوات بالمرور في المراحل نفسها بشكل عكسي . لاحظ الشكل (29) .

عيوب نظام التجميع التماثلي :

- إمكانية التداخل ما بين القنوات .
- محدودية عدد القنوات المتاحة .
- القابلية للتنصت وعدم السرية .
- حجم الأجهزة الكبير .



أنظمة التجميع الرقمية

هي أنظمة تعتمد على التقسيم الزمني (TDM)، وتتميز عن الأنظمة التماثلية بالآتي :

- أقل عرضة للتداخل بين قنواتها .
- حجم الأجهزة صغير نسبياً .
- إمكانية التجميع لعدد أكبر من القنوات .
- إمكانية نقل البيانات .
- أقل عرضة للتنصت .

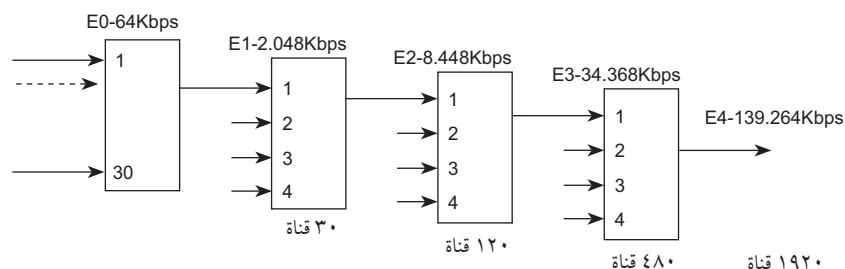
ويوجد نوعان من أنظمة التجميع الرقمية :

١ . الهيكلية الرقمية شبه المتزامنة (PDH)

يعتمد هذا النظام على مبدأ أساسي وهو تطوير معدل سرعة نقل المعلومات ، ففي النظام الأوروبي يتم تجميع الـ E1's بمعدل نقل معلومات 2048kpbs على مراحل كالآتي :

- المرحلة الأولى : تجميع 4E1's بمعدل نقل 8,448Kpbs وتشكيل ما يسمى E2 .
- المرحلة الثانية : تجميع 4E2's بمعدل نقل 34,368Kpbs وتشكيل ما يسمى E3 .
- المرحلة الثالثة : تجميع 4E3's بمعدل نقل 139,264Kpbs وتشكيل ما يسمى E4 .

شكل (٣٠): الهيكلية الرقمية
شبه المتزامنة (PDH)



وبنفس المبدأ يتم العمل بالنظام الأمريكي (TI)، ويتم فك التجميع (De-multiplexing) بالرجوع عكسياً بالمراحل المذكورة أعلاه.

من أهم عيوب هذا النظام:

1. ضرورة المرور بجميع المراحل عكسياً للحصول على الإطار التأسيسي E1 (2.048Mbps)، ولا يمكن تخطي أية مرحلة.
2. عدم اعتمادها على معايير موحدة عالمياً لربطها مع الألياف البصرية.
3. الحاجة إلى استخدام مجمعات (multiplexers) منفصلة في أثناء تطبيق المراحل المختلفة من الـ 2Mbps وحتى 140Mbps.
4. لا يتوافق النظام الأمريكي والأوروبي من خلال نظام PDH واحد.
5. صعوبة في عملية الإدارة واكتشاف المشكلات.
6. لا يمكن الوصول لمعدل نقل معلومات أكثر من 140Mbps.

٢. الهيكلية الرقمية المتزامنة (SDH)

ويشبه هذا النظام المطبق أوروبياً النظام الأمريكي الذي يدعى (الشبكة البصرية المتزامنة) SONET، وقد تم التغلب في هذا النظام على العيوب التي عانت منها أنظمة التجميع السابقة، وتسمى الوحدات التي تقوم بعملية التجميع والتقسيم للمعلومات من خلال الـ SDH بنماذج النقل المتزامنة (STMs) وهي كالتالي:

PDH	Pelsiochronous Digital Hierarchy
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SONET	Synchronous Optical Network
STM	Synchronous transport modules

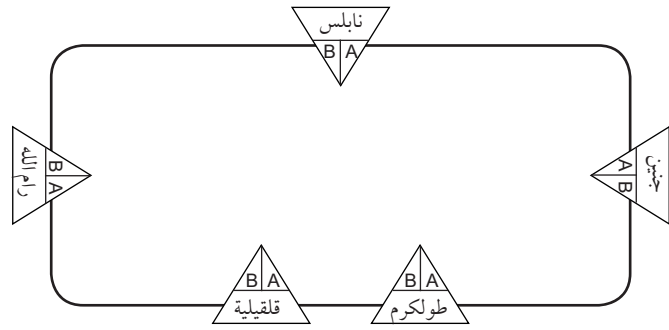
- STM1 : 155.52 Mbps ويمكن أن يتسع لنقل 63E1's.
- STM4 : 622.08 Mbps ويمكن أن يتسع لنقل STM14= 63E1'sX4
- STM16 : 2.488 Gbps
- STM64 : 9.9539Gbps

ويتميز بالخصائص الآتية :

- ١ . معايير الوصل بين أجهزة ال SDH والكوابل البصرية موحدة عالمياً .
- ٢ . سهولة أكبر للتحكم واكتشاف المشكلات .
- ٣ . عدم الحاجة إلى المرور بجميع المراحل عكسياً عند حاجتنا للإطار التأسيسي E1 (2.048Mbps) ، ويمكن الحصول على الإطار في أي مرحلة من مراحل التجميع .
- ٤ . يمكن تجميع النظام الأمريكي (T1) والأوروبي (E1) من خلال وحدة STM واحدة .
- ٥ . معدل النقل الكبير خصوصاً في مرحلة ال STM64 .
- ٦ . استخدام آليات الحلقة Ring في التوصيل وهي آلية تتميز بالقدرة على وصل جهازي STM من الطرفين عن طريق مسارين مختلفين فإذا تم قطع أحد المسارين يبقى المسار الآخر عاملاً ، وهو نظام متطور تقوم شركة الاتصالات الفلسطينية باعتماده في شبكتها ، كما ويوضح الشكل (31) الحلقة .



شكل (٣٢) إحدى وحدات ال STM1 الموجودة في قسم التراسل



شكل (٣١) : الهيكلية الرقمية المتزامنة (SDH)

الوصلات التراسلية

تقسم طرق التوصيل أو الوصلات التراسلية إلى :

- ١ . طريقة التوصيل عبر الكوابل النحاسية .
- ٢ . طريقة التوصيل عبر الميكروويف .
- ٣ . طريقة التوصيل عبر الألياف البصرية .

كان يعتمد عليها قديماً في عملية نقل الإشارات بين المقاسم أما اليوم فاستخدامها نادر ويقتصر في هذا المجال على الربط بين بعض المقاسم الصغيرة القديمة والمقسم الرئيس .

الميكروويف Microwave

وهي طريقة تراسل تعتمد على وجود خط نظر (Line of site) بين هوائي الإرسال والاستقبال .
في فلسطين تم بناء شبكة ميكروويف واسعة على امتداد الوطن لربط المقاسم ببعضها كطريقة بديلة للربط عند حصول أية مشكلات ، أوقف في شبكة تمديدات الألياف البصرية .

الألياف البصرية

في فلسطين قامت شركة الاتصالات الفلسطينية بإحجاز البنية الأساسية للتمديدات اللازمة لشبكة كوابل بصرية بسعات كبيرة ، وروعي في إنشائها أن تصل إلى جميع المدن والقرى والتجمعات السكانية .

تعد الألياف البصرية أفضل الوسائط التراسلية بين المقاسم نظراً للمزايا العديدة التي تتمتع بها ، وانتشار شبكات الألياف البصرية في بلد ما يعكس مدى تطور قطاع الاتصالات في ذلك البلد .

وتصمم الشبكات الهاتفية عادة بحيث تحتوي على مسارات بديلة تسمح باستمرار الاتصال بين مقسمين في حال تعرض الوصلة التراسلية بينهما للقطع .

نشاط (5):

بالتنسيق مع شركة الاتصالات الفلسطينية يقوم الطلاب برفقة مدرّسهم بزيارة للشركة .

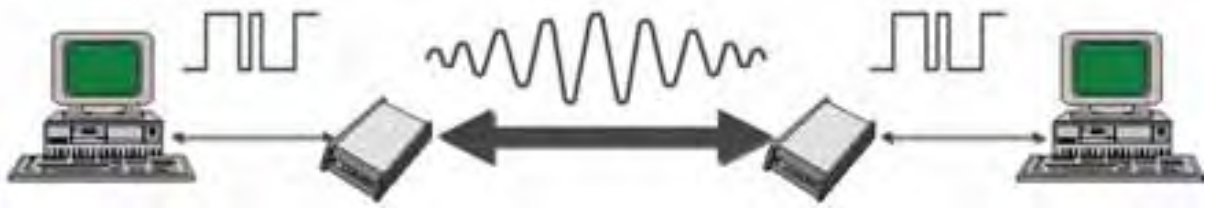
تطبيقات خاصة في الشبكة الهاتفية

المكالمات من جهاز المودم

ظهر المودم كجهاز يحول المعلومات الرقمية من الطرف المرسل إلى إشارات تماثلية قابلة للنقل عبر الشبكة الهاتفية ، أما في الطرف المستقبل فيقوم بتحويل الإشارات التماثلية إلى معلومات رقمية يمكن للحواسيب التعامل معها ، حيث يلزم وجود جهاز مودم عند طرفي الاتصال . كما في الشكل (33) .

كلمة Modem هي اختصار لكلمتي
Demodulator - Modulator

ظهرت أولى أجهزة المودم والتي كانت تعمل بسرعة 300 بت/ ثانية وقد كانت تلك سرعة مناسبة في ذلك الوقت ، ولكن مع تطور الحواسيب وإزدياد حجم المعلومات التي تعالجها كان لابد من زيادة سرعة نقل البيانات عبر المودم .



شكل (٣٣): استخدام المودم

كيف يعمل المودم

١. عندما يطلب المستخدم اتصالاً مع حاسب آخر فإن المودم يكمل الدارة الكهربائية عبر الوصلة الهاتفية الموصولة به، ويرسل إشارة طلب الرقم (DTMF) تماماً كما يفعل الهاتف العادي حيث يرسل المودم إلى المقسم رقم الهاتف المطلوب.
٢. يقوم المقسم بإرسال إشارة رنين إلى الرقم المطلوب، حيث يتحسس المودم المطلوب إشارة الرنين ويستقبل الاتصال تماماً كما لو رفعنا سماعة هاتف وهو يرن، ومن ثم يقوم المقسم بربط دائرة المودم المتصل بدائرة المودم المطلوب، وبهذا يصبح لدينا دائرة مغلقة بين جهازي المودم، وتشكل هذه الدارة قناة اتصال بينهما.
٣. يقوم الحاسب المتصل بإرسال المعلومات الرقمية التي يريد توصيلها إلى الطرف الآخر على شكل إشارات مضمنة رقمياً ذات ترددات أقل من 4KHz، وهو النطاق الترددي المسموح به على خط الهاتف.
٤. تنتقل الإشارة التماثلية عبر الشبكة الهاتفية إلى وجهة الاتصال حيث يستقبلها المودم هناك وبناءً على التضمين المستخدم في نقل الإشارة يتم تحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية من جديد ويمررها بدوره إلى جهاز الحاسب المرتبط به.

الفاكس

هو جهاز يوصل مع خط الهاتف، ويستخدم لنقل صور الوثائق والنصوص من مكان لآخر بواسطة الشبكة الهاتفية.

كيف يعمل الفاكس



شكل (٣٤): جهاز فاكس

١. يقوم الفاكس بإنشاء اتصال تماماً كما يفعل الهاتف حيث يرسل نغمات DTMF تمثل رقم الفاكس المرسل إليه.
٢. يقوم المقسم بإرسال نغمة رنين للخط الهاتفي المطلوب والمرتبط بجهاز فاكس والذي يقوم بإغلاق دائرة الاتصال بينه وبين المقسم (تماماً كما لو أن أحدهم رفع سماعة الهاتف في الإتصال الهاتفي)، ومن ثم يقوم المقسم بربط دارتي المرسل والمستقبل؛ مما يشكل قناة اتصال بينهما.

٣ . يقوم الفاكس المرسل بإرسال نغمة تعريفية وذلك ليعرف الفاكس المستقبل أن مصدر الاتصال هو جهاز فاكس ، وليس اتصالاً هاتفياً عادياً ، وتأتي النغمة الترحيبية من الفاكس المرسل إليه ، وتؤكد النغمة الترحيبية للمرسل بأن المستقبل هو جهاز فاكس يتم بعد ذلك تبادل لمعلومات كلا الجهازين من حيث سرعة كل منهما ودقة القراءة (resolution) وما إذا كانا يدعمان خوارزميات ضغط المعلومات (Data Compression) واسم الشركة التي يتبع لها الفاكس وحجم الصفحة المراد إرسالها وطبيعة الترميز المستخدم .

من المدهش أن براءة اختراع الفاكس صدرت قبل اختراع الهاتف ، حين سجل الأسكتلندي ألكسندر باين اختراعه عام 1843 ، أي قبل ظهور الهاتف بثلاث وثلاثين سنة حين سجل في براءة الاختراع المبادئ الأساسية التي بنى عليها فيما بعد الفاكس الذي نعرفه إلا أنه لم يخرج إلى حيز الوجود في ذلك الوقت .

٤ . يبدأ الفاكس المرسل بقراءة الورقة المراد إرسالها ، وذلك بمرور مجس ضوئي صغير (light sensor) فوق الورقة بحيث يغطي مساحة صغيرة (ربع ميليمتر مربع مثلاً) ويقوم المجس بقراءة اللون في تلك المساحة فإذا كانت سوداء فإنه يعبر عنها بإرسال نغمة بتردد 1300Hz ، أما إذا كانت بيضاء فإنه يرسل نغمة أخرى بتردد 800Hz ، وهكذا يمر المجس فوق الورقة من بدايتها إلى نهايتها ، ويقرأ في كل خطوة اللون في المساحة الصغيرة التي يكون فوقها ويرسل النغمات تبعاً للون المقروء ، وهكذا حتى يتم قراءة كامل الورقة .

٥ . تنتقل النغمات عبر الشبكة الهاتفية إلى الفاكس المستقبل والذي يقوم بدوره بترجمة النغمات إلى نقاط سوداء وبيضاء تبعاً لتردد النغمة المستقبلية وتطبع هذه النقاط على ورقة بوساطة رأس كتابة يتحرك بنفس الأسلوب الذي يتحرك فيه المجس الضوئي في الفاكس المرسل .

وتعتمد الأجهزة الحديثة على تقنيات مشابهة لطابعة الحاسوب التي تستعمل الحبر أو الليزر .

قام الاتحاد العالمي للاتصالات بأصدار عدد من اللوائح والبروتوكولات التي نظمت عمل أجهزة الفاكس في أربعة أجيال ، كل جيل لديه خصائص معينة ، مثل السرعة والترميز المستخدم ، وغيرها بحيث تستطيع أجهزة الفاكس المنتمة إلى نفس الجيل إرسال واستقبال ، الوثائق والنصوص فيما بينها ، كما أن الفاكس يستطيع مراسلة فاكس آخر من جيل سابق ، معظم أجهزة الفاكس المنتشرة حالياً في العالم هي من الجيل الثالث ، أما الجيل الرابع فسوف يكون أسرع في الإرسال والاستقبال ، كما أن أجهزة الجيل الرابع تستطيع التراسل رقمياً عبر الخطوط الرقمية المدمجة ISDN .

تقنية الخطوط المؤجرة Leased Line

وهي خدمة خاصة تقوم شركة الاتصالات بتقديمها عن طريق تشغيل دائرة مخصصة بين موقعين محددين بسرعة محددة عن طريق أجهزة خاصة تحدد السرعة .

تؤمن الخطوط الهاتفية المؤجرة بين موقعين ، توصيلاً مستمراً ، مختصاً ومباشراً . ويتم عادة تأجير هذه الخطوط من مزود خدمة الهاتف الذي يوفر أجهزة وأدوات خاصة للمحافظة على الإشارات المنقولة ، عبر هذه الخطوط من التداخل ، وتكون كلفة استخدامها مرتفعة مقارنة بتقنية الاتصال الهاتفي العادي ، غير أن هذه الكلفة

لا تعدّ مهمة إذا كان المستأجر، خاصة الشركات والمؤسسات، ينقل كمية كبيرة من البيانات والمعلومات أو يحتاج في مكاتبه المختلفة، إلى اتصال مستمر بقواعد بياناته.

CSU Channel service Unit

DSU Data Service Unit

تحتاج الخطوط المؤجرة إلى جهاز خاص شبيه بجهاز المودم يدعى (CSU/DSU)، يقع تركيزه عند نهاية كل خط. ويتركب هذا الجهاز أساساً من وحدتين: وحدة خدمة القناة (CSU) للتحكم في الخط الهاتفي المستأجر، ووحدة خدمة البيانات (DSU) للتحكم في تهيئة البيانات ونقلها عبر الخط.

عندما يزيد عدد الفروع لشركة معينة، ويطلب وصل الفروع بالمكتب الرئيس فإنه ستظهر الحاجة إلى تقنية أخرى أقل كلفة وأكثر سرعة، ومن هنا جاءت تقنية نقل الإطار (Frame Relay).

تقنية نقل الإطار Frame Relay

تعدّ تقنية نقل الإطار من تقنيات تحويل الحزمة (Packet Switching)، وتسمى بهذا الاسم؛ لأن البيانات المرسلّة يتم إرسالها على شكل وحدات تسمى إطارات Frames.

تحويل الحزمة: نظام تحويل يتم فيه تجزأة البيانات إلى حزم Packets وإرسالها بشكل منفصل بحيث لا يتم حجز قناة بين المرسل والمستقبل.
دائرة ظاهرية: اتصال بين جهازين في شبكة تستخدم تحويل الحزمة.

كما توفر هذه التقنية موثوقية عالية بسرعة نقل بيانات تتراوح بين 56 كيلوبت في الثانية إلى 45 ميجابت في الثانية. توفر هذه التقنية خدمة موجهة، ويتم ذلك بإعداد دائرة ظاهرية دائمة (Permanent Virtual Circuit) بين الأجهزة المرسلّة والمستقبلة تحدد المسار الذي تسلكه البيانات عبر شبكة نقل الإطار وتتمتع هذه التقنية بفعالية كبيرة، وذلك نظراً للآلية المبسطة بتوجيه البيانات والنظام المحكم للتحكم بتدفق البيانات.

إن الأجهزة في هذه التقنية هي المسؤولة عن معالجة الأخطاء، وليس الشبكة مما يخفف العبء عن الشبكة ويحسن أداؤها وتنقسم شبكة نقل الإطار إلى قسمين: شبكات واسعة وشبكات واسعة خاصة، ومن بعض مميزات هذه التقنية:

- توفر خيار أسرع وأقل تكلفة من شبكات ISDN والخطوط المستأجرة.
- القدرة على نقل أنواع مختلفة من الإشارات.
- الحاجة إلى إدارة أبسط وأقل تعقيداً من التقنيات الأخرى.

وتستفيد من مثل هذه التقنية الشركات والمؤسسات والبنوك والتي يوجد لها فروع كثيرة تنتشر في المدن، ويلزم نقل البيانات فيما بينها.

شبكة الخدمات الرقمية المتكاملة ISDN

وهي خط هاتفي رقمي لنقل البيانات الرقمية حيث أصبح بإمكان المشترك الحصول على خدمات متكاملة (مكالمة هاتفية ونقل بيانات) على خط هاتفي رقمي واحد بالمقارنة مع الخط التماثلي التقليدي البطيء الذي يحتاج إلى تحويل البيانات الرقمية إلى تماثلية قبل بثها، وتستخدم خطوط الشبكة الهاتفية لإيصال خدمة الـ ISDN للمشاركين .

إن خطوط الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (ISDN) محددة بنطاق ترددي، وتنقسم إلى عدة أنواع، أهمها:

- النوع الأول: هو خط الشبكة بالسرعة الابتدائية (PRI) وهو إطار E1 من 2 ميغابت/ ثانية، ويحتوي على 30 قناة "B" لنقل البيانات وقناة (D) واحدة للتحكم ويستخدم لربط الأنواع المتقدمة من المقاسم الداخلية الخاصة PBX بالمقاسم المحلية، وفي عملية ربط الشبكة الهاتفية بشبكة الإنترنت.

PRI Primary Rate Interface
NT Network Terminal

- النوع الثاني: وهو خط الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (ISDN) بسرعة 128 كيلوبت/ الثانية. وتنقسم هذه السرعة إلى قناتين حاملتين، كل منها بسرعة 64 كيلوبت/ الثانية (وتعرف باسم قناة B). لذا تستطيع هذه الشبكة استخدام قناتين في الوقت ذاته، مكالمات صوتية واحدة ومكالمة بيانات واحدة بسرعة 64 كيلوبايت أو مكالمات بيانات بسرعة 128 كيلوبايت. وتستخدم القناة الثالثة وهي قناة (D) للتحكم بالخط ويركب على هذا الخط عادة معدل طرفي (NT)، ويوفر الاتصال بين (ISDN) والأجهزة الموصولة بها. وينتشر هذا النوع لدى المشاركين مستخدمي الإنترنت بسرعة محدودة؛ لذلك تم البحث عن طرق أسرع لنقل البيانات من خلال الشبكة الهاتفية.

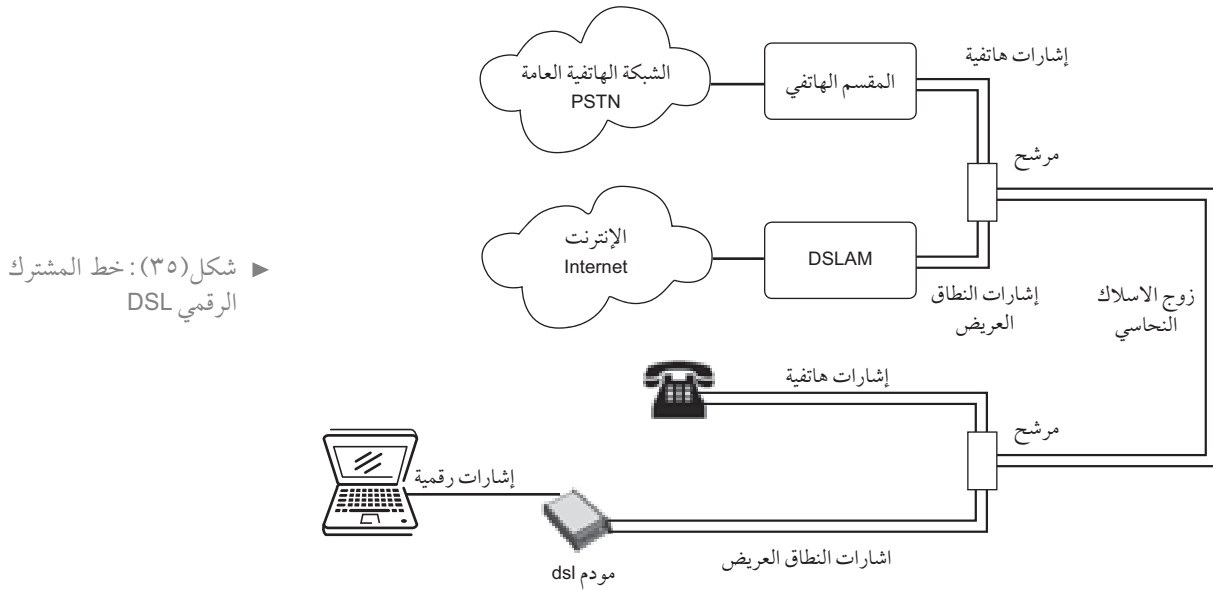
خط المشترك الرقمي (DSL)

مع تطور تقنيات الاتصالات وظهور الإنترنت بالتزامن مع انتشار الحاسوب الشخصي ظهرت الحاجة إلى تقنيات تربط أجهزة الحاسوب وشبكاتها بعضها مع بعض من خلال الإنترنت، ومن هنا جاء استعمال المودم في نقل الإشارات الرقمية بين الحواسيب وشبكات الحاسوب، إلا أن طبيعة عمل المودم تفرض أن يستخدم الترددات المتاحة في حدود الشبكة الهاتفية، أي أقل من 4KHz، وهذا لن يعطي سرعة عالية في تبادل المعلومات، إذ إن أقصى سرعة للمودم هي 56 كيلوبت في الثانية.

لذلك كان لابد من التفكير في تقنيات جديدة توفر سرعات عالية دون تغيير أساسي في البنية التحتية لشبكات الاتصالات التي تعتمد أساساً على الأسلاك النحاسية، إذ إنه من المكلف تغيير الشبكات الحالية وإستبدالها بألياف بصرية، أوحى زيادة أزواج الأسلاك النحاسية المرتبطة بكل مشترك.

هنا ظهرت تقنية خط المشترك الرقمي DSL حيث تستعمل هذه التقنية نفس زوج الأسلاك النحاسية لكل مشترك لربطه بشبكة نطاق عريض (Broad Band) ذات سرعات عالية ومن دون تداخل مع الإشارات التماثلية الخاصة بالمكالمات الهاتفية ، ويتم ذلك عن طريق استعمال نطاقات تردد واسعة وذات ترددات عالية ؛ مما يسمح بنقل الإشارات الرقمية بسرعات عالية .

ويتم دمج الإشارات الخاصة بالنطاق العريض بالإشارات الخاصة بالمكالمات الهاتفية من خلال التقسيم الترددي (FDM) كما في الشكل (35).



ويتم فصل الإشارات الهاتفية عن إشارات ال DSL بواسطة مرشح Filter / Splitter الذي يعتمد على مرشح تمرير نطاق منخفض Low Pass Filter لتصفية الإشارات الهاتفية ؛ كونها ذات نطاق منخفض ، أما الإشارات ذات التردد العالي فيتم ترجمتها إلى إشارات رقمية لنقلها إلى الحواسيب وشبكاتها . تتجمع الوصلات الهاتفية الخاصة بالمستخدمين عند المقسم ، وتمر عبر مرشح ، مثل الذي لدى المشترك ليفصل الإشارات الهاتفية وينقلها إلى المقسم ليتم معاملتها كأية إشارة هاتفية أخرى ، أما تلك الإشارات الخاصة بالنطاق العريض فيتم نقلها إلى مجمع الوصلات لخط المشترك الرقمي (DSLAM) ، وهو عبارة عن جهاز يستقبل إشارات النطاق العريض من كل المستخدمين ويترجمها إلى إشارات رقمية يرسلها إلى وجهتها من خلال شبكة الحواسيب أو الإنترنت ، كما يستقبل البيانات المطلوبة من شبكة الحواسيب أو الإنترنت ويرسلها إلى المستخدمين من خلال تحويل الإشارات الرقمية التي تمثل هذه البيانات إلى إشارات تماثلية ذات ترددات ضمن النطاق العريض .

وتختلف أنواع خطوط المستخدمين الرقمية وتعدد استخداماتها باختلاف سرعاتها ، وهي كما يأتي :

١ . خط المشترك الرقمي غير المتماثل (ADSL): وهو الأكثر انتشاراً ، وقد صمم على أن يكون النطاق المخصص للبيانات المرسلة من قبل المشترك (30 KHz – 140KHz) أقل بكثير من النطاق المخصص

للبيانات القادمة أو المستقبلية والتي تصل إلى 1104KHz ، وذلك يعود لطبيعة الاستعمال المشترك إذ إنه عادة تكون المعلومات المطلوبة أكثر بكثير من المعلومات المرسلة . ويمكن أن تصل سرعة التنزيل حتى 2 ميغابت في كل ثانية في حين تصل سرعة التحميل إلى 640 كيلوبت في كل ثانية .

٢ . خط المشترك الرقمي المتماثل (SDSL) : ويستخدم في الشركات والمؤسسات التي تقدم خدماتها عن طريق الإنترنت حيث يتميز بأن سرعة تنزيل وتحميل المعلومات متساوية ؛ إذ يمكن أن تصلا إلى 2 ميغابت / ثانية .

٣ . خط المشترك الرقمي الفائق (VDSL) : يستخدم في نقل الملفات الكبيرة ، وفي مجال نقل البث التلفازي ، ويتميز بسرعة عالية جدا يمكن أن تصل إلى 56 ميغابت / ثانية .

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line.	
SDSL	Symetric Digital Subscriber Line.	
VDSL	Very high Speed Digital Subscriber LIne.	
DSLAM	DSL Access Multiplxer.	

نموذج النقل اللامتزامن (ATM)

هي تقنية متقدمة ذات سعة نطاق عالية تسمح لمجموعة من التطبيقات والخدمات المختلفة ليتم دعمها ونقلها عبر شبكة واحدة .

وقد تم تطوير هذه التقنية لتحسين أسلوب الإرسال في الشبكات الحديثة (B-ISDN) وهي شبكة رقمية عالية السرعة .

تتكيف تقنية ATM مع كل من الشبكات المحلية والواسعة وتدعم سرعات لنقل البيانات تتراوح بين 25 ميغابت/ ثانية و 1.2 جيجابت/ ثانية أو أكثر ، وخلافاً لغيرها من تقنيات الإرسال فإن تقنية ATM لا ترسل البيانات على هيئة أطر مختلفة الحجم ، بل ترسلها على شكل خلايا Cells محددة الحجم ، وكل خلية تحمل 53 بايت كحد أقصى .

يعدّ نقل البيانات على شكل خلايا صغيرة أكثر فعالية وكفاءة من نقلها على شكل حزم أو إطارات كبيرة ومختلفة الأحجام وذلك لأن هذه الخلايا تتمتع بالميزات الآتية :

- ١ . من الممكن نقلها بشكل أسرع بين مكونات الشبكة .
- ٢ . أقل تعقيداً ، ويمكن معالجتها بشكل أسرع من الأطر كبيرة الحجم
- ٣ . تحتاج إلى أقل ما يمكن من خواص التحكم بتدفق البيانات ومعالجة الأخطاء .

أما طريقة عمل هذه التقنية فتتم بطريقة عمل تقنية نقل الإطار من حيث ضرورة توفر مسار ظاهري (Virtual Path) بين الأجهزة المرسلة والمستقبلة قبل البدء بعملية نقل البيانات .

كما أن ATM مشابهة لتقنية نقل الإطار في توزيعها الديناميكي لسعة النطاق حسب الطلب .

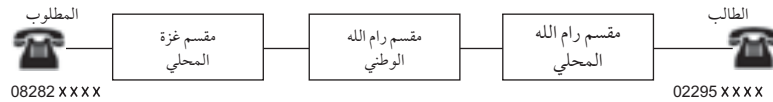
وللاستفادة القصوى من إمكانيات وقدرات تقنية ATM لابد أن تكون جميع الأجهزة متوافقة بشكل كامل مع مواصفات ATM. ومن مميزات تقنية ATM :

- السرعة العالية .

- توفير مدى واسع من الخدمات أكثر مما تستطيع تقنية Frame Relay توفيره ، وذلك نظراً لسعة النطاق المرتفعة .
- توفير التكامل بين الشبكات المحلية والشبكات الواسعة ؛ مما يسهل ويبسط إدارتها .

الأسئلة

- س١ : اذكر مكونات لشبكة هاتفية .
 - س٢ : اذكر مكونات جهاز الهاتف .
 - س٣ : اشرح آلية عمل الميكروفون الكربوني .
 - س٤ : ارسم مخططاً صندوقياً يوضح مكونات شبكة التوزيع .
 - س٥ : لماذا تستخدم معدات الحماية داخل هيكل التوزيع الرئيس (MDF) ومم تتكون؟
 - س٦ : اذكر أهم عيوب المقاسم اليدوية .
 - س٧ : ارسم مخططاً صندوقياً لأجزاء المقسم الرقمي موضحاً أهم مكوناته ؟
 - س٨ : اذكر أهم ما يميز نظام الإشارة للقناة المشتركة ss7 .
 - س٩ : اشرح سيناريو مكالمة وطنية بين مقسمين حسب المخطط الآتي :
- علماً بأن مقسم رام الله الوطني هو مقسم عبور .



- س١٠ : أ . اذكر ما يميز أنظمة التجميع الرقمية في منظومة التراسل عن الأنظمة التماثلية .
ب . اذكر أنواع أنظمة التجميع الرقمية .
- س١١ : أذكر أهم خصائص نظام الهيكلية الرقمية المتزامنة SDH .
- س١٢ : لماذا سميت شبكة الخدمات الرقمية ISDN بالمتكاملة؟ وما هي أنواعها؟
- س١٣ : عدد أنواع خطوط المشتركين الرقمية DSL واستخداماتها موضحاً سرعاتها المختلفة .
- س١٤ : بماذا تتميز تقنية نقل الإطار Frame Relay ، ومن يفضل أن يستخدمها؟
- س١٥ : اذكر ثلاث مميزات لتقنية ATM وعدد عيوبها .

- س١٧ : ما هو الجزء في المقسم الذي يرتبط مباشرة بغرفة التراسل .
- س١٨ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :
- ١ . يعتمد عدد الأرقام في المدى الرقمي لكل مقسم على سعة المقسم .
 - ٢ . كان يجب وضع المقاسم البدائية في أطراف التجمعات السكانية .
 - ٣ . يعتمد جهاز الهاتف القرصي على النغمات المزدوجة متعددة الترددات DTMF .
 - ٤ . تستخدم الكوابل ذات السعات الصغيرة نسبياً ككوابل فرعية والأخرى ذات السعات الكبيرة والتي تصل إلى 40000 زوج ككوابل رئيسة في شبكة التوزيع الهاتفية .
 - ٥ . الجرار في وحدة التحكم بالخطوط الهاتفية في المقاسم الرقمية يحوي عدداً محدداً من كرات المشتركين .
 - ٦ . النظام الأمريكي لتجميع القنوات يتكون من 32 قناة .
 - ٧ . أنظمة الفوترة في المقسم ترتبط بقاعدة بيانات تحتوي على حقل البدء في المكالمات .
 - ٨ . من رقم هاتف المشترك يمكن معرفة إلى أي مقسم يتبع هذا المشترك .
 - ٩ . خدمة الأرقام المجانية هي خدمة تعتمد على الشبكة الذكية .
 - ١٠ . يعدّ نظام PDH ذا مميزات أكبر من نظام SDH .
- س١٩ : اختر الإجابة الصحيحة :
- ١ . كان للمقاسم اليدوية العديد من العيوب ، منها :
 - أ . حاجتها إلى عامل المقسم لتمرير المكالمات .
 - ب . ذات ساعات قليلة .
 - ج . الحاجة إلى أن تكون في وسط التجمع السكاني .
 - د . كل ما ذكر .
 - ٢ . تقوم وحدات التحكم بالترنكات الرقمية DTC بـ :
 - أ . تزويد الخطوط بالحرارة عند رفع الساعة .
 - ب . تشغيل دارات الجرس .
 - ج . تشغيل ال E1's وال T1's .
 - د . كل ما ذكر .
 - ٣ . في جهاز الهاتف الجزء المسؤول عن تحويل الإشارة الكهربائية إلى موجة صوتية تسمعها :
 - أ . الميكروفون .
 - ب . السماعة .
 - ج . وحدة التنبيه (الجرس) .
 - د . قرص الطلب .
 - ٤ . من أحدث أجيال المقاسم .
 - أ . المقاسم اليدوية .
 - ب . المقاسم الرقمية .
 - ج . المقاسم الكهروميكانيكية .
 - د . المقاسم التماثلية .

- ٥ . تستخدم الكوابل ذات السعات الكبيرة لربط :
- أ . خزائن التوزيع بالمقسم .
ب . جهاز الهاتف بقبس الهاتف .
ج . الصناديق المثبتة على الأعمدة بالكيبل الرئيس . د . مقبس الهاتف بصندوق التوزيع .
- ٦ . تتميز الشبكة الذكية بالعديد من الخدمات ، مثل :
- أ . الرقم المجاني .
ب . خدمات الهواتف مسبقة الدفع .
ج . خدمة البطاقات مسبقة الدفع . د . كل ما ذكر .
- ٧ . صمم خط المشترك الرقمي غير المتماثل ADSL على أن يكون :
- أ . النطاق المخصص للبيانات المرسله أقل بكثير من النطاق المخصص للبيانات المستقبلية .
ب . النطاق المخصص للبيانات المستقبلية أقل من النطاق المخصص للبيانات المستقبلية .
ج . النطاق المخصص للبيانات المستقبلية مساوياً لنطاق البيانات المرسله .
د . كل ما ذكر .

أنظمة الاتصالات اللاسلكية

Wireless Communications Systems

٦



أنظمة الاتصالات اللاسلكية

عندما يتعذر استخدام الاتصالات السلكية لوجود عوائق، أو بسبب بعد وكبر مساحة المنطقة الجغرافية أو عندما يصبح من المستحيل إيصال التمديدات اللاسلكية، ولا سيما في التطبيقات أو الاستخدامات المتنقلة حيث الحاجة إلى حرية الحركة أثناء الإتصال، خاصةً في المركبات المتنقلة البرية والبحرية والجوية فقد دعت الحاجة إلى استخدام أنظمة الاتصالات اللاسلكية. ومع التطور التكنولوجي السريع تطورت معه أنظمة الاتصالات اللاسلكية، وانتشرت بشكل كبير، وأثرت على حياتنا اليومية بشكل يصعب الاستغناء عنه، إذ لا غنى عن استقبال القنوات الإذاعية التلفازية. كما ظهرت أنظمة الهواتف الخليوية التي أصبحت مظهراً من مظاهر عصرنا الحالي. ويعد قطاع الاتصالات اللاسلكية (خاصة الخليوية منها) واحداً من أكثر القطاعات تطوراً وانتشاراً في أنحاء العالم، ولم يقتصر على نقل الصوت فقط، وإنما نقل البيانات والصور والفيديو.

أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

- تشرح تطور الأنظمة الخليوية وخصائصها.
- تتعرف على النظام العالمي للاتصالات الخليوية GSM.
- تشرح التقنيات المستخدمة لتطوير الأنظمة الخليوية.
- تتعرف على أنظمة لاسلكية أخرى، مثل بلوتوث والواي فاي.
- تتعرف على هواتف الأقمار الصناعية المتنقلة.
- تتعرف على نظام الدارة المحلية اللاسلكية.
- تتعرف على مكونات نظام أجهزة الاتصال اللاسلكية.

تاريخ الأنظمة اللاسلكية



■ 1885 يعزى الفضل الأول لهنري هيرتز في إجراء أول اتصال راديوي، وكان نظاماً بسيطاً حيث كان جهاز الإرسال مكوناً من مفتاح وملف حثي لتوليد شرارة عبر أقطاب، أما جهاز الاستقبال فهو عبارة عن ملف مع فتحة ضيقة في السلك وعند حدوث شرارة بين أقطاب جهاز الإرسال تحدث شرارة بين أقطاب جهاز الاستقبال ضمن مسافة قصيرة داخل المختبر.

أسس ماركوني شركة لإنتاج أنظمة الاتصالات اللاسلكية، ونال جائزة نوبل في الفيزياء عام 1907م، وتوفي عام 1937م والشركة التي أسسها تعد الآن جزءاً من شركة جنرال إلكتريك.

تبع ذلك ماركوني الذي طور نظام هنري هرتز البسيط إلى نظام أفضل لا يعتمد على حدوث الشرارة الكهربائية، وإنما على الهوائيات التي نعرفها اليوم حيث وصل مدى الإرسال إلى ما يقرب من بضعة كيلومترات. وأدى اختراع الصمامات الحرارية إلى تطور أجهزة الاتصالات وزيادة فاعليتها.

■ 1912 طور أرمسترونغ وفسندين جهاز الاستقبال السوبرهوتروداين.

■ 1933 طور أرمسترونغ مبدأ تضمين التردد FM، وفي الحرب العالمية الأولى ظهرت الحاجة الملحة لأنظمة الراديو في نقل الأوامر والخطط العسكرية إلى قلب المعركة، وظهرت الحاجة إلى أنظمة بأحجام تناسب المركبات والطائرات والسفن الحربية، وتحمل في حقيبة على ظهر الجنود في المعركة.

بعد انتهاء الحرب العالمية الأولى كان الاهتمام منصباً على البث الإذاعي خاصة في الولايات المتحدة وأدى تزايد عدد المحطات الإذاعية إلى زيادة إنتاج أجهزة الاستقبال وتوفيرها بشكل تجاري للمستهلك العادي.

■ 1921 كان أول استخدام لما سمي الراديو الخاص المتنقل لشرطة دترويت وشرطة لندن عام 1923 باتجاه واحد (Simplex).

بحلول الحرب العالمية الثانية كان الراديو قد تطور وانتشر بشكل كبير حيث زودت به الآليات العسكرية بشكل أساسي، وأصبح لا غنى عنه في ساحات المعارك وبانتهاء الحرب العالمية الثانية بدأ البحث عن أسواق جديدة للهاتف الراديوي غير الاستخدام العسكري، وظهر مصطلح Private Mobile Radio PMR أو أنظمة الهاتف النقالة الخاصة.

■ 1946 أول ظهور لخدمة الهاتف المتنقل (MTS) Mobile Telephone Services، وكان لشركة AT&T.

■ في الخمسينيات من القرن الماضي كان الهاتف المتنقل يوضع في العديد من السيارات الخاصة وسيارات الاجرة، أما التطور الكبير فكان بعد اختراع الترانزستور الذي قلل من حجم أجهزة الراديو اللاسلكية وخفف من استهلاكها للطاقة الكهربائية.

■ 1965 ظهر أول جهاز لاسلكي يحمل باليد، وقد أمكن لدوائر الشرطة تزويد كل شرطي بجهاز بدلاً من تزويد السيارة وظهرت في تلك الفترة الحاجة إلى تنظيم استخدام ترددات البث ووضع القوانين والتشريعات لها.

وقد ظهرت العديد من الشركات في الولايات المتحدة وأوروبا التي تقدم خدمة الهاتف المتنقل خاصة في بريطانيا والسويد، لكنها كانت محدودة السعة وبمدى قصير لاعتمادها على خلية واحدة وبقيت في الخدمة طويلاً إلى أن بدأت أنظمة الهاتف الخليوي في التطور والظهور في الثمانينيات من القرن الماضي حين كانت قد وضعت الاسس الأولية للنظام الخليوي من قبل Bell Labs التابعة لشركة AT&T عام 1948 ولكن التكنولوجيا اللازمة لتطبيقها لم تتوفر إلا في الثمانينيات حين ظهرت (AMPS) في الولايات المتحدة الأمريكية، وخصص لها التردد 800MHz، وقد انتشر هذا النظام في العديد من بلدان العالم.

■ 1991 - ظهر نظام GSM، وفي أوروبا بعد أن تم وضع معايير دولية لنظام الهاتف الخليوي سيطر نظام GSM على سوق الهاتف الخليوي في العالم وانتشر بشكل كبير في جميع دول العالم وبتأمينه لخاصية التجوال Roaming جعل بالإمكان للشخص التنقل في العديد من دول العالم بنفس الرقم الذي يحمله وبالإضافة إلى العديد من المزايا الأخرى. وفي الآونة الأخيرة ظهرت العديد من التطبيقات اللاسلكية التي تؤمن خدمات الاتصال لتطبيقات معينة، مثل الواي فاي WiFi والبلوتوث Bluetooth كما يجري العمل على تطوير نظام عالمي للاتصالات الخليوية ليؤمن العديد من التطبيقات وبسرعات نقل بيانات عالية.

نظراً لاستخدام الكثير من المصطلحات الإنجليزية في هذه الوحدة والحاجة إلى استخدامها لاحقاً فإنه من الأفضل تفسير معاني هذه الاختصارات مقدماً، ومن ثم استخدام المختصرات لاحقاً. وفيما يأتي جدول بأهم المصطلحات المستخدمة:

المعنى العربي	المعنى الانجليزي	المختصر
النظام العالمي للاتصالات المتنقلة.	Global System for Mobile Communication.	GSM
نظام فرعي محطة القاعدة.	Base Station Subsystem.	BSS
نظام فرعي التحويل.	Network Switching Subsystem.	NSS
نظام فرعي التشغيل والصيانة.	Operation And Maintenance Subsystem.	OMSS
محطة اتصال القاعدة.	Base Transceiver Station.	BTS
نظام التحكم في محطة القاعدة.	Base Station Controller.	BSC
المقسم المركزي.	Mobile Switching Center.	MSC
مقسم عبور.	Gate way Mobile Switching Center.	GMSC
شبكة الهاتف العامة.	Public Switch Telephone network.	PSTN
سجل موقع الزائر.	Visitor Location Register.	VLR

HLR	Home Location Register.	سجل الموقع الرئيسي .
EIR	Equipment Identity Register.	سجل هوية الوحدات المتنقلة .
IMEI	International Mobile Equipment Identity .	هوية الجهاز الدولية .
AUC	Authentication center.	مركز التوثيق .
IMSI	International Mobile Subscriber Identity.	الهوية الدولية المشترك .
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity.	هوية المشترك المؤقتة .
PLMN	Public Land Mobile Network.	الشبكة الأرضية العامة للمتنقلات .
SIM	Subscriber Identity Module.	بطاقة هوية المشترك .
AMPS	Advanced Mobile Phone System.	النظام المتطور للهاتف المتنقل .
GPRS	General Packet Radio Service.	الخدمة العامة لنقل الحزم لاسلكياً .
EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution.	معدل النقل المحسن لأنظمة GSM.
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System.	نظام الاتصالات العالمي للمتنقلات .
HCMTS	High Capacity Mobile Telephone Services.	خدمة الهاتف المتنقل عالي السعة .
MS	Mobile Station.	الوحدة المتنقلة (الجهاز الخليوي) .
ME	Mobile Equipment.	الجهاز المتنقل .
PIN	Personal Identification Number.	رقم التعريف الشخصي .
PUK	Personal Unblocking Key.	رقم فك الإغلاق الشخصي .
SMSC	Short Message Service Center.	مركز خدمة الرسائل القصيرة .
VMS	Voice Mail System.	نظام البريد الصوتي .
OSS	Operation Support System.	نظام دعم التشغيل .
CCBS	Customer Care and Billing System.	نظام خدمات المشتركين والفوترة .
NMC	Network Management center.	مركز إدارة الشبكة .
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data.	دارات تحويل البيانات عالية السرعة . .
TCH	Traffic Channel.	قناة نقل المعلومات . .
CCH	Control Channel.	قناة التحكم .
BCCH	Broadcast Control Channel.	قناة تحكم بال بث .
CCCH	Common Control Channel.	قناة تحكم مشتركة .
DCCH	Dedicated Control Channel.	قناة تحكم مكرسة .
CT2	Cordless Telephone 2.	الهاتف اللاسلكي الجيل الثاني .
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephone.	الهاتف اللاسلكي الرقمي المحسن .
FHSS	Frequency Hopping Spread spectrum.	قفزات تردد الطيف المنتشر .
WLL	Wireless Local Loop.	الدائرة المحلية اللاسلكية .
MSISDN	Mobile Station International Subscriber Directory Number.	رقم هاتف المشترك الدولي .
TDD	Time Division Duplexing.	نظام التقسيم الزمني الثنائي .

الأنظمة اللاسلكية التقليدية (وحيدة الخلية)

ظهرت الأنظمة اللاسلكية التقليدية بعد الحرب العالمية الثانية ، وكان الهدف الأساسي لهذه الأنظمة تأمين الاتصال للمركبات والآليات المتنقلة وربطها بشبكة الهاتف العامة PSTN . لاحظ الشكل (1) .



شكل (١):

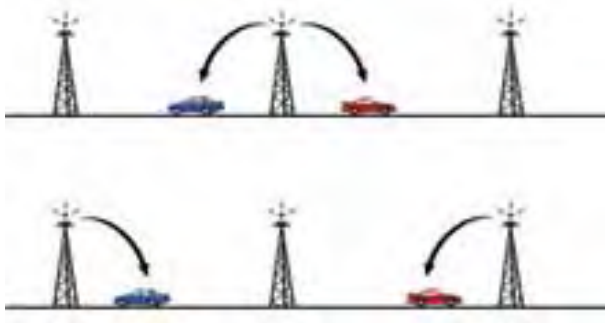
ولاعتمادها على النظام التماثلي كانت نوعية الإرسال ضعيفة ، واقتصر استخدامها في البداية على المؤسسات العسكرية والشرطة وأنظمة الملاحة الجوية والبحرية ، ثم انتقل إلى الاستخدام الخاص وسيارات الأجرة .

عيوب الأنظمة التقليدية :

- ١ . ارتفاع الكلفة (للجهاز ولزمن الاتصال) .
- ٢ . ضخامة حجم ووزن الأجهزة المتنقلة .
- ٣ . مساحة تغطية محدودة نسبياً لاستخدام برج إرسال واحد (خلية واحدة) .
- ٤ . سعة محدودة لعدد المشتركين (25 قناة تقريباً) .
- ٥ . إمكانية التطفل لعدم استخدام نظام تشفير .
- ٦ . جودة اتصال منخفضة .

الأنظمة الخليوية (Cellular Systems)

المبدأ الأساسي في الأنظمة الخليوية هو تقسيم منطقة الخدمة إلى مناطق تسمى خلايا ، ويستخدم برج لتغطية كل خلية وذلك باستخدام طاقة إرسال منخفضة لكل برج لمنع التداخل في حال استخدام نفس الترددات في خلية أخرى ، كما في الشكل (2) وبذلك لم تعد هناك حاجة لاستخدام أجهزة خليوية بطاقة عالية ، كما أصبح بالإمكان زيادة سعة الأنظمة الخليوية بإضافة المزيد من الأبراج (الخلايا) ، وأصبح بالإمكان التنقل بين الخلايا بشكل سلس الشكل (3) وتم إضافة العديد من الخدمات بالإضافة إلى نقل الصوت ، وظهرت عدة أنظمة استخدمت في البداية النظام التماثلي عرفت بالجيل الأول ، ثم تطورت إلى أنظمة أخرى استخدمت النظام الرقمي ، وعرفت بالجيل الثاني ومازالت هذه الأنظمة قيد البحث والتطوير لتحسين أدائها ، ولتوفير العديد من الخدمات ، منها نقل الصوت والصورة ، وخدمات الانترنت ، وشمولية التغطية الجغرافية باستخدام الأقمار الصناعية ، ويجري الان اختبار ما يعرف بالجيل الثالث ، وفيما يأتي ملخص لأبرز مميزات هذه الأجيال .



شكل (٣):



شكل (٢):

الجيل الاول 1980 G1

كانت أنظمة هذا الجيل المثل الأول على توظيف مبدأ النظام الخليوي وذلك في أواخر السبعينيات، وبقيت في خدمه حتى أوائل التسعينيات، وتميزت باستخدام النظام التماثلي .

التكنولوجيا : كانت تستخدم التقسيم الترددي FDMA والنظام التماثلي Analog ونظام التضمين FM.

أمثلة : AMPS في الولايات المتحدة الأمريكية، NMT-900 في السويد، HCMTS في اليابان .

خصائص الجيل :

- ١ . غير متوافقة في النظام، وتعتمد على ترددات مختلفة لعدم وجود معايير دولية موحدة .
- ٢ . محدودة السعة والتوسع (لضعف التكنولوجيا المستخدمة) .
- ٣ . جودة منخفضة لاعتمادها على النظام التماثلي .
- ٤ . ضعف الحماية ضد التطفل لعدم اعتمادها نظام تشفير .
- ٥ . اقتصار الخدمات على نقل الصوت فقط .

الجيل الثاني 1992 G2

امتازت أنظمة هذا الجيل باستخدام التقنية الرقمية، بعد تطور صناعة الدارات الرقمية وتطور سرعة نقلها للبيانات، وتميزت بسعاتها العالية مقارنة بأنظمة الجيل الأول، وقد تم وضع معايير دولية لهذه الأنظمة؛ مما سهل انتشارها .

التقنية المستخدمة : تستخدم تقنيات الوصول TDMA و FDMA و CDMA والتكنولوجيا الرقمية وتضمين QPSK و GMSK في الإرسال والاستقبال .

أمثلة : DAMPS : الولايات المتحدة الأمريكية ، يستخدم TDMA.

GSM : أوروبا والعديد من دول العالم ، يستخدم TDMA.

IS-95 (CDMAOne) : الولايات المتحدة الأمريكية يستخدم CDMA.

مميزات هذا الجيل :

- ١ . سعة هاتفية وإمكانية توسع عاليين .
- ٢ . جودة عالية لاعتمادها على التضمين الرقمي .
- ٣ . حماية قوية ضد التطفل لاستخدامه تقنيات التشفير الرقمية .
- ٤ . توفير العديد من الخدمات ، مثل نقل النصوص SMS والفاكس وغيرها .
- ٥ . أجهزة صغيرة الحجم واستهلاك منخفض للطاقة .
- ٦ . خدمة التجوال الدولي .

الجيل الثاني المطور 1999-2001 G2.5 (Phase2)

يعد جيل التطور والتحول نحو الجيل الثالث ، حيث تم استخدام أنظمة إضافية لزيادة سرعة نقل البيانات على أنظمة الجيل الثاني السابقة التي تستخدم نظام TDMA وهذا مكن من استخدام تطبيقات الإنترنت ، ونقل البيانات والوسائط المتعددة .

التقنية المستخدمة : GPRS : واستخدم لتطوير نظام GSM.

EDGE : استخدم لتطوير نظام DAMPS نظام GPRS التي تستخدم على أنظمة GSM

CDMA2000 1X : التي تستخدم لتطوير IS-95 (CDMAONE).

الجيل الثالث 2001 G3

بعد النجاح الكبير الذي حققته أنظمة الجيل الثاني ، وخاصة نظام GSM بدأ التوجه نحو تكامل ودمج العديد من الأنظمة في نظام واحد يشمل الأنظمة الخليوية والهواتف اللاسلكية وأنظمة المناداة ونظم الأقمار الصناعية ودمجها في نظام عالمي موحد ، وبدأت المنظمات الدولية بوضع معايير موحدة لأنظمة هذا الجيل ، وبدأ بعض هذه الأنظمة بالظهور في اليابان وكوريا الجنوبية ، ثم لحقت بها العديد من دول العالم .

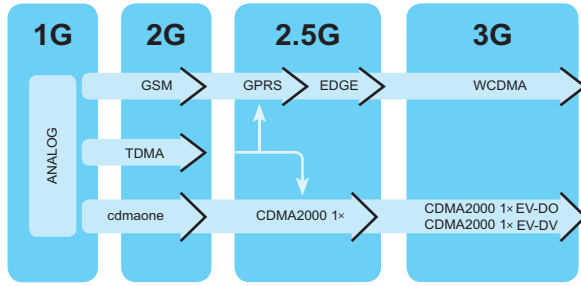
التقنية المستخدمة : تستخدم أنظمة الجيل الثالث نظام الوصول WCDMA

WCDMA هو نوع من CDMA ، يستخدم نطاق بث عريض .

وتتضمن QPSK في الإرسال والاستقبال .

أمثلة : UMTS في أوروبا واليابان .

مميزات هذا الجيل :



شكل (٤): أجيال الأنظمة الخليوية .

- ١ . مقياس عالمي موحد .
- ٢ . تجوال عالمي موحد Global Roaming (بين مختلف أنواع الأنظمة من خليوية وأقمار صناعية وغيرها) .
- ٣ . سرعة نقل بيانات عالية .
- ٤ . نقل الوسائط المتعددة بنوعية مقبولة .
- ٥ . الاتصال الدائم مع الإنترنت .

الجيل الرابع 2010 G4

إن التوجه الأساسي في هذا الجيل هو الوصول إلى سرعة نقل بيانات عالية تصل إلى 100Mbps لتخدم تطبيقات الفيديو والإنترنت ، وسيتم استخدام بروتوكولات الشبكات وعنوان بروتوكول الإنترنت (IP Address) لكل مستخدم ، وذلك اقرب نحو مبدأ الشبكات اللاسلكية WLAN ، ولهذا الغرض ستوضع خلايا محلية بين التجمعات السكانية والمكاتب والشركات ، وقد لايزيد مدى الخلايا عن 100m (Picocells) ، وهذا يستدعي تركيب آلاف الخلايا داخل المدينة الواحدة .

نشاط (١):

إبحث في الجيل المستخدم في شركات الإتصال الخليوي المحلية .

النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM)

طور نظام ال GSM في أوروبا حيث وضعت له المواصفات والمقاييس وأنشئت عام 1982م مجموعة تابعة للاتحاد الدولي للاتصالات (ITU-T) ، وكان هدف هذه المجموعة وضع اسس ومقاييس لنظام خليوي أوروبي موحد ، وقد بدأ بتشغيل هذا النظام منذ عام 1991 ، وانتشر عالمياً ، وسمي (GSM) .

يعدّ نظام GSM من أكثر الأنظمة انتشاراً حول العالم ، فهناك أكثر من 690 مشغلاً لهذه الخدمة في 213 بلداً حول العالم تخدم مايقارب 2 مليار مشترك ، ويمثل ما نسبته أكثر من 82 % من سوق الأنظمة اللاسلكية حول العالم (احصائيات 2006) ، ويحوي العديد من التطبيقات والخدمات وبما أن الأنظمة الخليوية تتشابه في الكثير من الخصائص فإن دراستنا لنظام GSM سيساعد في فهم العديد من الأنظمة الخليوية الأخرى .

الحاجة إلى نظام GSM

بعد النجاح العملي للأنظمة الخلوية التماثلية ، مثل (AMPS) ظهرت الحاجة إلى تطوير نظام رقمي يتمتع بالموصفات الآتية :

- ١ . نوعية نقل جيدة للصوت .
- ٢ . إمكانية الوصول إلى خدمات الاتصالات الأخرى ، مثل البيانات (ISDN) ، فاكس ، الإنترنت ، البريد الإلكتروني) .
- ٣ . نظام أمان ووثوقية عالية يمنع التطفل والتنصت .
- ٤ . سعة تماثل سعة أنظمة شبكة الاتصالات العامة (PSTN) .
- ٥ . تكلفة منخفضة للمشغل والمستخدم .
- ٦ . أسس للانتشار عالمياً .
- ٧ . إمكانية التطور للأنظمة المستقبلية .

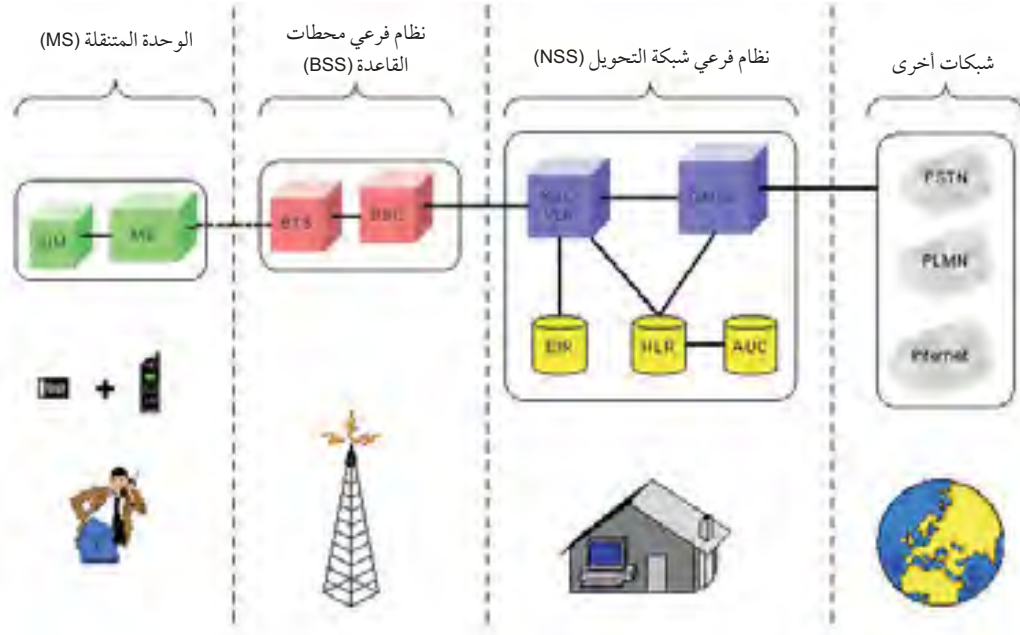
المميزات الأساسية:

- مقياس عالمي موحد .
- استخدام التقنية الرقمية .
- استخدام فعال للنطاق الترددي عبر التوزيع الخليوي واستخدام التقسيم الزمني TDMA .
- نظام حماية وتشفير قوي لمنع التطفل .
- خدمة التجوال العالمي باستخدام رقم المشترك الشخصي .
- كرت المشترك SIM الذي يحمل معلومات خط المشترك وبالتالي إمكانية تغيير جهاز الهاتف المتنقل دون تغيير الرقم الشخصي .
- توفيره للعديد من الخدمات واتصاله مع شبكة الاتصال العامة PSTN .

تركيب النظام

يتكون نظام GSM من الوحدات الآتية :

- الوحدة المتنقلة (الجهاز الخليوي) (MS) .
- نظام فرعي محطات القاعدة (BSS) .
- نظام فرعي شبكة التحويل (NSS) .
- نظام فرعي التشغيل والصيانة (OMSS) .



شكل (٥): تركيب نظام GSM

الوحدة المتنقلة (MS)

تتكون من الجهاز المتنقل وبطاقة هوية المشترك.



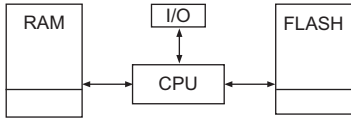
شكل (٦): أجهزة متنقلة

الجهاز المتنقل (ME): وهو جهاز متوافق مع نظام GSM وقد يكون محمولاً باليد أو في السيارة أو ثابتاً في المكتب أو المنزل ويعرف كل جهاز برقم فريد عالمياً (IMEI) يميزه عن غيره، ويمثل الهوية الدولية للجهاز المتنقل، ويمكن للوحدات المتنقلة أن ترسل بيانات بالإضافة إلى الصوت وتتراوح الطاقة الإشعاعية لها بين 0.8W و 2W حسب بعدها عن برج الخلية. الشكل (6) يبين بعض أنواع الأجهزة المتنقلة.

بطاقة هوية المشترك (SIM): وهي بطاقة ذكية تحتوي على رقم يمثل الهوية الدولية للمشارك (IMSI)، وهو رقم عالمي فريد يتعرف من خلاله نظام GSM على هوية المشارك، ويتم ربطه من خلال النظام برقم الهاتف الشخصي للمشارك.

لمعرفة الـ IMEI الخاص بجهازك إضغط
(#06*)

كما يمكن استخدامها على أي جهاز متنقل وتؤمن بذلك الوصول إلى مختلف خدمات الشبكة، ومن دون هذه البطاقة لا يمكن للوحدة المتنقلة أن ترسل أو تستقبل مكالمات إلا للطوارئ فقط، وتتكون بطاقة المشارك من معالج (Microcontroller) يحتوي على ذاكرة قراءة فقط (ROM) للبرامج وذاكرة قابلة للقراءة والكتابة EEPROM لتخزين البيانات. لاحظ الشكل (7).



شكل (٧): التركيب الداخلي (SIM)

ويتم حماية البطاقة باستخدام رقم سري (PIN) وهو رقم مكون من أربعة خانات مخزن في بطاقة هوية المشترك SIM لمنع استخدامها في حالة الضياع أو السرقة، وإذا تم محاولة إدخال الرقم بشكل خاطئ ثلاث مرات فإن البطاقة تنغلق، وتمنع الوصول إليها إلا بإدخال رقم آخر يسمى رقم فك الإغلاق الشخصي (PUK) الذي تزوده الشركة للمشارك عند شرائه البطاقة.

نشاط (٢):

ابحث في بعض المعلومات والبيانات التي تخزن على بطاقة هوية المشترك.

كما تحتوي على أنماط التشفير المختلفة التي تستخدم في عملية التوثيق Authentication والتشفير Cipherng بالإضافة إلى ذلك فإن بطاقة هوية المشترك تستخدم كذاكرة يخزن فيها معلومات وبيانات المشترك وتستخدم كدليل يحوي أسماء وأرقام هواتف.

نظام فرعي محطات القاعدة (BSS):

ويتكون من محطة اتصال القاعدة، ونظام التحكم في محطات القاعدة.

محطة اتصال القاعدة (BTS): تحتوي على واحد أو أكثر من معدات الإرسال والاستقبال (Transceivers TRX)، وقد تخدم خلية أو أكثر، وهي تؤمن الاتصال والربط مع الجهاز المتنقل، وتقوم بما يأتي:

١. عمليات الترميز والتشفير مع الوحدة المتنقلة MS.
٢. عمليات الدمج (Multiplexing).
٣. قفزات التردد (Frequency hopping) لزيادة الحماية والسرية بين برج الاتصال والوحدة المتنقلة.

الشكل (8) يبين أحد محطات اتصال القاعدة.



شكل (٨): محطة اتصال قاعدة لشركة جوال

نظام التحكم في محطات القاعدة (BSC) تقوم بما يلي:

١. التحكم بمحطات القاعدة والترددات المتاحة.
٢. ضبط قنوات الاتصال (Channel setup).
٣. تنسيق المناولة (handover) بين الخلايا.
٤. تحديد طاقة الإرسال للوحدة المتنقلة.

► شكل (٩): محطات
اتصال قاعدة



يقوم BSS بالعمليات السابقة لواحده أو أكثر من محطات القاعدة (قد تصل إلى عدة مئات حسب الشركة الصانعة) في منطقة تسمى منطقة الموقع Location Area، وهي المنطقة التي يمكن للوحدة المتنقلة التنقل داخلها دون الحاجة لتحديث الموقع، وتعرف المنطقة برقم يسمى رقم المنطقة (LAI). الشكل (10).



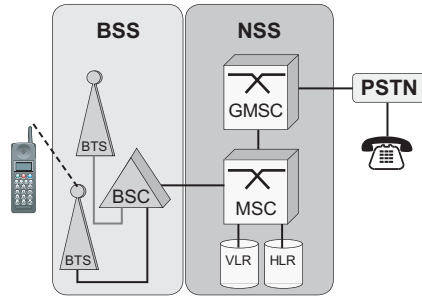
شكل (١٠): منطقة خدمة

نظام فرعي شبكة التحويل (NSS)

وهو عصب النظام الخليوي ويقوم بإدارة معظم وظائف وخدمات المشتركين ومعالجة المكالمات داخل النظام، ومع شبكة الاتصالات العامة PSTN، وتتكون من أنظمة رئيسية، وأنظمة فرعية.

الأنظمة الرئيسية

تتكون من المقسم المركزي، وسجل الموقع الرئيس، ومركز التوثيق، وسجل موقع الزائر. كما في الشكل (11).
■ المقسم المركزي (MSC): يقوم بالربط بين أنظمة التحكم في محطات القاعدة BSC، وبقية عناصر النظام لتأمين المهام الآتية:

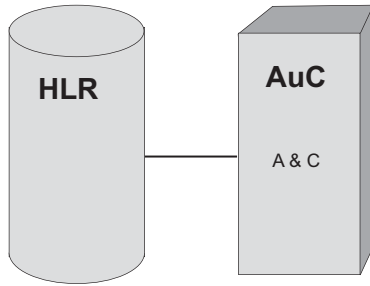


شكل (١١): الأنظمة الرئيسية

١. التسجيل (Registration) والتوثيق (Authentication).
٢. تحديث سجلات المواقع (Location updating).
٣. تسجيل معلومات الفوترة للمشاركين.
٤. تحويل المكالمات الداخلية.
٥. الاتصال مع مقسم العبور (GMSC) لتأمين الاتصال مع الشبكات الأخرى السلكية واللاسلكية. أنظر الشكل (11).



شكل (١٢): سجل الموقع الرئيسي



شكل (١٣): مركز التوثيق

■ سجل الموقع الرئيس (HLR): وهي قاعدة بيانات دائمة للمشاركين تسجل فيها معلومات عن: شكل (12).

- (IMSI).
- رقم هاتف المشترك الدولي (MSISDN).
- الخدمات المسموح بها للمشارك.
- الموقع الحالي للمشارك (LAI).
- رموز التوثيق والتشفير (Authentication & Ciphering).
- الناتجة من مركز التوثيق.
- معلومات الدفع المسبق.
- معلومات التجوال (Roaming).

■ مركز التوثيق (AuC): وهي قاعدة بيانات محمية مرتبطة بشكل رئيس مع سجل الموقع الأساسي HLR مسجل فيها منهج التوثيق والتشفير الخاصة بكل مشترك، وتولد الرموز المستخدمة لإتمام عمليتي التوثيق والتشفير (Authentication & Ciphering).

ويتم توليد هذه الرموز بطلب من سجل موقع الزائر VLR المتواجد فيه المشترك ثم يتم تخزينها في سجل HLR وإرسال نسخة عنها إلى سجل VLR.

(وفي الواقع يعتبر مركز التوثيق تابعاً لسجل HLR). شكل (13).

■ سجل موقع الزائر (VLR): عبارة عن قاعدة بيانات مؤقتة للمشاركين المتواجدين حالياً في نطاق منطقة المقسم المركزي (MSC)، وهي بيانات مطابقة لتلك الموجودة في سجل الموقع الأساسي للمشاركين (HLR) تجدد كلما دخل هاتف نقال إلى منطقة عملها، وعادة تكون جزءاً من المقسم المركزي (MSC)، ويتم الرجوع إليها في حالة طلب إجراء المكالمات في حالة التوثيق، وعند انتقال المشترك من منطقة إلى أخرى تنتقل المعلومات من سجل VLR القديم إلى سجل VLR الجديد، كما في الشكل (14). ويخزن في السجل ما يأتي:



شكل (١٤): سجل موقع الزائر

١. بيانات المشترك الموجودة في سجل الموقع الأساسي HLR.

- رقم هوية المشترك المؤقت TMSI، وهو رقم بديل عن IMSI، ويولد عشوائياً داخل سجل VLR للحفاظ على سرية هوية المشترك.
- رقم المنطقة LAI ليسهل تحديد موقع المشترك.
- رموز التوثيق والتشفير (Authentication & Ciphering triplets).

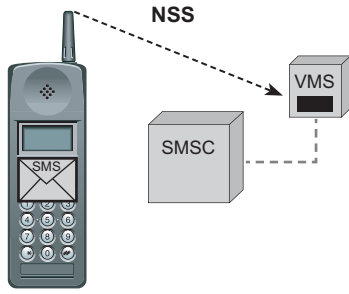
تتكون من سجل هوية الوحدات المتنقلة، ومركز الرسائل القصيرة، ونظام البريد الصوتي.

-
- The diagram illustrates the GSM network architecture, divided into two main sections: BSS (Base Station Subsystem) and NSS (Network Subsystem). In the BSS section, a mobile phone is shown communicating with the BST (Base Transceiver Station), which is connected to the BSC (Base Station Controller). The NSS section contains the MSC (Mobile Switching Center) and the EIR (Equipment Identity Register). The BSC is connected to the MSC, which in turn is connected to the EIR. The EIR stores the IMEI (International Mobile Equipment Identity) of the mobile phone.

ويتم الرجوع لهذا السجل في حالة التسجيل (Registration) أو طلب إجراء مكالمة، ويحتوي على ثلاثة أنواع من القوائم، هي:

- ويرتبط هذا السجل مع أكثر من مقسم مركزي MSC في الشبكة الواحدة التي ترجع إلى هذا السجل للتأكد من صلاحية الوحدات المتنقلة ME.

■ مركز الرسائل القصيرة (SMSC): وهو نظام يستخدم للتخزين المؤقت في عملية إرسال واستقبال الرسائل القصيرة المتبادلة بين الوحدات المتنقلة بعضها ببعض أو مع مشغلي الخدمة في الشبكة أو مزودي الخدمة المستقلين، وتتصل مع أكثر من مقسم مركزي MSC ومع نظام البريد الصوتي Voice Mail system لاحظ الشكل (16).

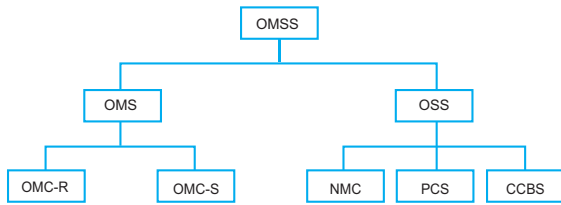


شكل (١٧): نظام البريد الصوتي

- نظام البريد الصوتي (VMS): عند إغلاق الوحدة المتنقلة أو خروجها خارج نطاق الشبكة يمكن للمتصلين تخزين رسائل صوتية في نظام البريد الصوتي، وسماعها لاحقاً من قبل المشترك، ويتم إعلامه بوجود رسائل صوتية عن طريق مركز الرسائل القصيرة SMSC بإرسال رسالة قصيرة للمشارك، كما يمكن للبريد الصوتي ان يخزن البيانات والفاكس، ويتصل البريد الصوتي مع أكثر من مقسم مركزي MSC، ومع مركز الرسائل القصيرة SMSC. لاحظ الشكل (17).

نظام فرعي التشغيل والصيانة (OMSS)

- يتكون نظام فرعي التشغيل والصيانة عادة من نظام دعم التشغيل (OSS)، ونظام التشغيل والصيانة (OMS). كما في الشكل (18).



شكل (١٨): نظام فرعي التشغيل والصيانة

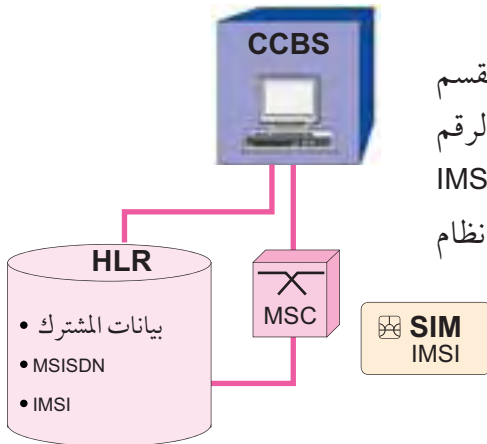
نظام دعم التشغيل (OSS)

- ويأتي في قمة الهرم الإداري للتشغيل والصيانة في الشبكة، ويتكون من الأقسام الرئيسة الآتية:

- نظام خدمات المشتركين والفوترة (CCBS)

تتلخص مهام نظام خدمات المشتركين والفوترة بما يأتي:

١. إدارة بيانات المشترك في سجل الموقع الأساسي HLR، وفي بطاقة المشترك SIM.
٢. جمع بيانات الفوترة من المقاسم المركزية MSC ومعالجتها لإصدار الفواتير.
٣. الاتصال مع نقاط البيع المختلفة لتفعيل وتشغيل بطاقات المشترك SIM.
٤. خدمات الاستعلامات للمشاركين.



شكل (١٩): نظام خدمة المشتركين والفوترة

- نظام إعداد بطاقات هوية المشترك PCS: يتم في هذا القسم تجهيز بطاقات المشتركين SIM، وذلك بربط بيانات الرقم المتسلسل للبطاقة مع بيانات المشتركين (أنماط التشفير، IMSI) والخدمات المسموح بها للمشارك... وذلك بإشراف نظام خدمات المشتركين والفوترة CCBS.

كما يتم في هذا القسم إعطاء الرقم السري PIN ورقم PUK لكل بطاقة قبل إرسالها إلى مراكز البيع.

■ مركز إدارة الشبكة NMC : يقوم مركز إدارة الشبكة بالمراقبة والتحكم بمراكز التشغيل والصيانة المختلفة والتنسيق فيما بينها .

نظام التشغيل والصيانة (OMS)

يتكون نظام التشغيل والصيانة من مركز أو أكثر من مراكز التشغيل والصيانة (OMC)، وهناك نوعان من مراكز التشغيل والصيانة :

- ١ . مركز لخدمة نظام فرعي محطات القاعدة BSS يسمى OMC-R .
 - ٢ . مركز لخدمة نظام فرعي شبكة التحويل المركزية NSS تسمى OMC-S .
- يتحكم مركز التشغيل والصيانة بكامل الشبكة ، ويقوم بمهام التشغيل والصيانة لكل من نظام فرعي محطات القاعدة BSS ونظام فرعي شبكة التحويل المركزية NSS وتتلخص مهامه فيما يأتي :
- ١ . متابعة ومعالجة الأخطاء .
 - ٢ . إدارة مهام المقاسم ومحطات القاعدة والتوسعة الإضافية .
 - ٣ . الحصول على قياسات وإحصائيات استعمال الشبكة لضمان الاستخدام الأمثل للشبكة .
- يتم الوصول وتشغيل مختلف مراكز التشغيل والصيانة عبر محطات عمل حاسوبية رسومية تؤمن سهولة التشغيل والتحكم بمختلف هذه الأنظمة من قبل العاملين في هذه المراكز .

نشاط (٣):

بالتنسيق مع شركة الاتصالات الخليوية يقوم الطلاب برفقة مدرّسهم بزيارة الشركة .

خدمات نظام ال GSM

تقدم شبكة ال GSM العديد من الخدمات ، منها ما هو مقدم من مشغلي الشبكة ، ومنها ما هو مقدم من شركات مستقلة من خلال شبكة ال GSM ، ويمكن تلخيص هذه الخدمات في الفئات الآتية :

خدمات الإتصال Teleservices

وهي الخدمات المقدمة من شبكة ال GSM ، والتي تؤمن العديد من أنواع الاتصال بين المشتركين ، مثل : المحادثة ، البيانات والرسائل القصيرة sms ، والفاكس .

خدمة نقطة إلى نقطة Bearer Services

تستخدم هذه الخدمة لتبادل المعلومات وذلك باستخدام الوحدة المتنقلة كجهاز مودم ، وهي خدمة تبادل المعلومات ، وذلك بربط الوحدة المتنقلة بجهاز الحاسوب لتعمل كمودم اتصال لنقل المعلومات واتصالها مع

حاسوب اخر عبر شبكة GSM أو ربطه مع شبكة البيانات الرقمية . كما في الشكل (20) .

► شكل (٢٠) : خدمة نقطة إلى نقطة



يستفاد من هذه الخدمة في :

- نقل الملفات والبرامج من حاسوب إلى آخر أو من وحدة متنقلة إلى وحدة أخرى .
- خدمات الإنترنت والبريد الإلكتروني .

يمكن الحصول على سرعة نقل قصوى تصل إلى 9600bit/s ، وحديثاً تم ادخال أنظمة مطورة على نظام ال GSM لزيادة سرعة نقل البيانات ، ويسمى عندها هذا النظام نظام الطور الثاني GSM Phase2 وأبرز هذه الأنظمة . نظام الخدمة العامة لنقل الحزم لاسلكياً (GPRS).

الخدمات التشغيلية

وهي الخدمات المساندة للاتصالات الهاتفية ، مثل :

- إظهار رقم المتصل (Caller ID) . الشكل (21) .
- إظهار تكلفة الاتصال .
- مكالمة في الانتظار (Call Waiting) .
- تحويل المكالمات (Call Forwarding) . الشكل (22) .
- حجب المكالمات (Call Parrying) . الشكل (23) .
- التحدث المتعدد (Conference) .



شكل (٢٣) : حجم المكالمات



شكل (٢٢) : تحويل المكالمات



شكل (٢١) : إظهار رقم المتصل

خدمات تقدمها شبكة ال GSM بالتعاون مع شركاء آخرين بأسعار إضافية وهذه الخدمات قد يحتاجها المشترك يومياً، مثل :

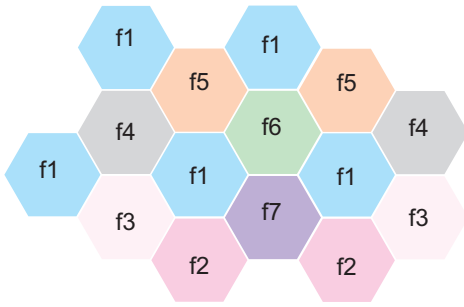
- حركة السير .
- الرحلات وحجز التذاكر .
- الأخبار .
- تقنيات الوسائط المتعددة .

نشاط (٤):

ابحث في بعض الخدمات التي يقدمها مزود خدمة الاتصالات الخليوية في منطقتك .

الخصائص الفنية لنظام GSM

التوزيع الخليوي



شكل (٢٤): التوزيع الخليوي

يعد التوزيع الخليوي من أهم ما يميز الأنظمة الخليوية حيث يتم تغطية المنطقة الجغرافية بأبراج اتصال تسمى محطات الاتصال الرئيسة BTS، ويغطي كل برج منطقة معينة (خلية)، ويتم توزيع الترددات (القنوات) على الخلايا بحيث لا تستخدم اية خليتين متجاورتين نفس الترددات حتى لا يحدث تداخل بينهما، وبذلك يتم استخدام بعض القنوات الهاتفية ضمن منطقة ما وإعادة استخدامها في منطقة أخرى كما في الشكل (24).

وقد تستخدم مجموعة من ثلاثة أو سبع خلايا يطلق عليها عنقود (Cluster)، ويمكن أن يتراوح نصف قطر الخلية من 100m في المدن المزدحمة إلى 35Km في المناطق الريفية، وبناءً على ذلك يمكن أن تقسم الخلايا إلى أربعة أقسام، هي :

■ Macro cell : ويصل نصف قطرها إلى 35Km .

■ Umbrella cell : ويصل نصف قطرها إلى 10Km .

■ Mini cell : يصل نصف قطرها إلى 1Km .

■ Micro cell : يصل نصف قطرها من 100m إلى 300m .

يستخدم الشكل السداسي عادة لسهولة التصميم ولكن عملياً تكون التغطية دائرية .

التصميم والتخطيط

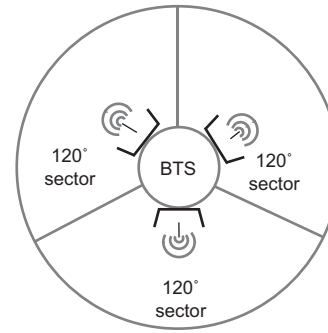
يعتمد عدد الخلايا وحجمها على :

- مساحة المنطقة المراد تغطيتها .
- المسافة بين الوحدات المتنقلة ومحطة الاتصال الرئيسة .

- طبيعه المنطقة الجغرافية، وما إن كان هناك موانع طبيعية، مثل الهضاب والجبال أو كانت منطقة منبسطة وما إن كانت منطقة مدنية أو ريفية.
- عدد المشتركين في تلك المنطقة.

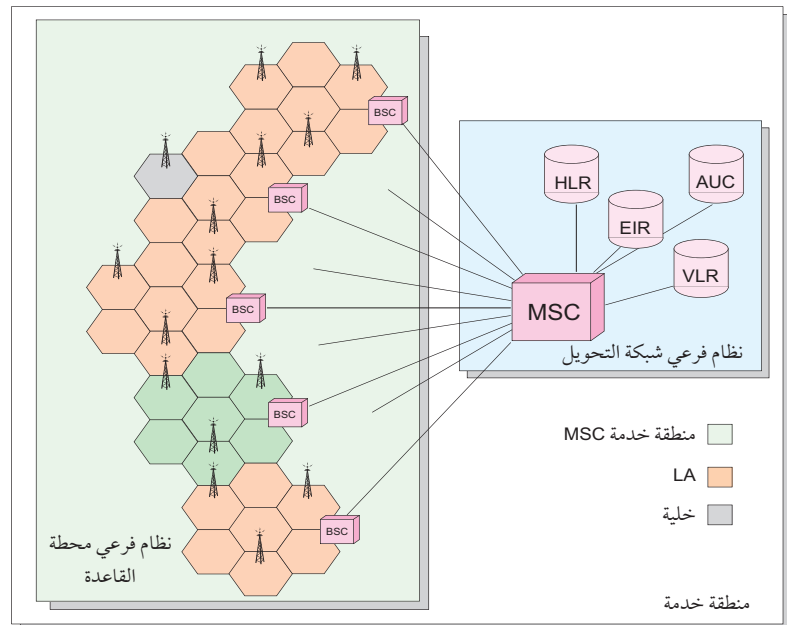
ويستخدم عادة ثلاثة هوائيات قطاعية لكل برج بحيث يغطي كل هوائي خلية لتردد يختلف عن تردد الهوائي المجاور كما في الشكل (25)، ويؤمن التوزيع الخليوي المزايا الآتية:

- زياد سعة واستيعاب النظام.
- طاقة إرسال قليلة.
- إمكانية زيادة منطقة التغطية بسهولة.



شكل (٢٥): الهوائيات القطاعية

كل مجموعة أبراج في عنقود (Cluster) ما يتحكم بها نظام التحكم بمحطات القاعدة BSC التي تتصل مع المقسم الأساسي MSC كما في الشكل (26).



► شكل (٢٦): منطقة خدمة MSC

نقل البيانات

في الوحدة المتنقلة يتم تحويل البيانات لتنقل بإحدى سرعتين ، هما :

- معدل النقل الكامل Full Rate وسرعتها 13Kbit /s .
- معدل النقل النصفى Half Rate وسرعتها 6.5Kbit /s .

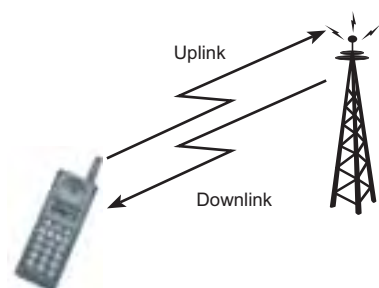
وفي محطات القاعدة BTS وأنظمة التحكم فيها تضاف بعض البيانات لتصل سرعة نقل البيانات إلى 16Kbit /s وقبل نقلها إلى المقسم المركزي يتم دمج 120 منها لتصل إلى سرعة 2Mbit/s (PCM30)

الخصائص الراديوية

الجدول الآتي يبين بعض الخصائص الراديوية لأنظمة GSM المختلفة .

النظام			الخاصية
GSM 1900	GSM 1800	E-GSM 900	
1850-1910MHz	1710-1785MHz	880-915MHz	نطاق تردد الإرسال (Uplink)
1930-1990MHz	1805-1880MHz	925-960MHz	نطاق تردد الاستقبال (Downlink)
2*60MHz	2*75	2*35MHz	عرض النطاق الكلي (Bandwidth)
200 KHz			الطاق الفاصل (Carrier Separation)
80MHz	95MHz	45MHz	المسافة المزدوجة (Duplex Distance)
300Ch	373Ch	175Ch	عدد القنوات المزدوجة
TDMA/FDMA			نظام الوصول (Access Method)
8			عدد القنوات الصوتية لكل قناة مزدوجة
GMSK			نظام التضمين (Modulation Method)

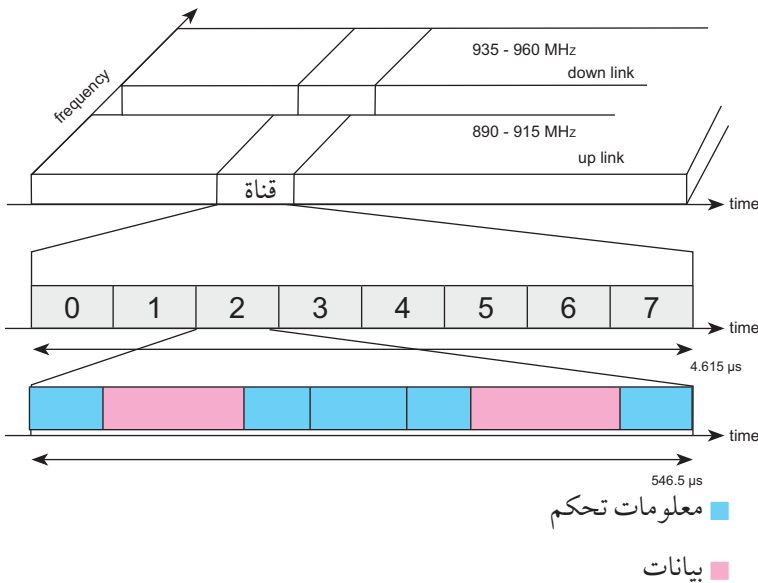
تم إصدار عدد من أنظمة GSM لتناسب الترددات المتاحة في العديد من دول العالم ، فعلى سبيل المثال يستخدم نظام GSM 900 في أوروبا ومعظم دول آسيا وإفريقيا ، في حين يستخدم نظام GSM 1800 في الولايات المتحدة الأمريكية :



- ١ . نطاق تردد الإرسال Uplink : هو نطاق الترددات الذي تستخدمه الوحدة المتنقلة في إرسال المعلومات إلى محطة اتصال القاعدة .
- ٢ . نطاق تردد الاستقبال Downlink : هو نطاق الترددات الذي تستخدمه الوحدة المتنقلة في استقبال المعلومات من محطة اتصال القاعدة .

٣ . عرض النطاق الكلي Bandwidth : هو عرض النطاق الكلي لترددات الإرسال والاستقبال المستخدمة في نظام GSM .

- ٤ . النطاق الفاصل Carrier Separation : هو عرض النطاق لترددات قناة الاتصال .
- ٥ . المسافة المزدوجة Duplex Distance : هو مقدار الفرق بين تردد قناة الإرسال وقناة الاستقبال للوحدة المتنقلة خلال عملية الاتصال .
- ٦ . عدد القنوات المزدوجة : هو عدد القنوات الكلية التي يستخدمها نظام GSM ، ولزيادة السعة يتم توزيع هذه القنوات على الخلايا وإعادة استخدام نفس القنوات في خلايا غير متجاورة .
- ٧ . نظام الوصول Access Method وعدد القنوات : بالإضافة إلى أن نظام GSM يستخدم التقسيم الترددي في توزيع الترددات على الخلايا وعلى القنوات ضمن نفس الخلية فهو يستخدم الوصول بالتقسيم الزمني المتعدد TDMA حيث توزع القناة الواحدة بين ثماني وحدات متنقلة في حالة معدل النقل الكامل Full rate أو 16 وحدة متنقلة في حالة معدل النقل النصفى Half rate ضمن شريحة زمنية واحدة (Time Slot) مدتها 4.615ms ، وكل وحدة متنقلة تستخدم 546.5us ينقل فيها المعلومات وبيانات التزامن والتحكم بالإضافة إلى وجود فترات زمنية للحماية ومنع التداخل .



شكل (٢٨) : نظام الوصول



شكل (٢٧) : TDMA

نظام التضمين Modulation Method

يستخدم تضمين GMSK في الإرسال والاستقبال بين الوحدة المتنقلة ومحطة القاعدة ، ويتميز بضيق النطاق المستخدم ؛ مما يقلل من عرض النطاق الكلي للإرسال وتقليل التداخل بين القنوات المتجاورة .

قنوات الاتصال

تستخدم العديد من قنوات الاتصال بين الوحدة النقالة ومحطة اتصال القاعدة ، وتنقسم إلى قنوات نقل المعلومات ، وقنوات التحكم .

- قنوات نقل المعلومات (TCH): وتستخدم لنقل معلومات المتصل من صوت ونص وغيره بإحدى سرعتين Full rate أو Half rate.
- قنوات التحكم (CCH): وتستخدم لنقل كل ما يتعلق بامور التحكم والتفاهم بين الوحدة المتنقلة ومحطة القاعدة. وتقسم إلى ثلاثة أنواع فرعية:
 ١. قناة التحكم بالبت BCCH: تستخدم لبث معلومات التعريف، مثل رقم هوية مشغل نظام GSM وترددات الأبراج المستخدمة وتبث باتجاه واحد من قبل محطات القاعدة إلى الوحدات المتنقلة.
 ٢. قناة التحكم المشتركة CCCH: وتستخدم لإجراء عملية التوثيق ولاشعار الوحدة المتنقلة بوصول مكالمة وكذلك لطلب اجراء مكالمة من قبل الوحدة المتنقلة.
 ٣. قناة التحكم المكرسة DCCH: وتستخدم لتحديث الموقع وإرسال واستقبال الرسائل القصيرة.

آليات العمل

تحديث الموقع (Location Update)

- بسبب التنقل داخل شبكة GSM لابد من تحديث معلومات الموقع للوحدات المتنقلة ME في سجلات الشبكة (سجلات الزوار VLR وسجلات الموقع الرئيس HLR)، وتحديث هذه العملية في كل مرة يتم فيها:
- تشغيل الوحدة المتنقلة.
 - فصل الوحدة المتنقلة أو خروجها خارج نطاق الخدمة.
 - التنقل خلال مناطق الشبكة المختلفة.

الأمان والسرية (التوثيق Authentication والتشفير Ciphering)

التوثيق: وهي العملية التي تمكن نظام GSM من التأكد من هوية المشترك ومنع عمليات الاحتيال ومنع بطاقات هوية المشترك المفصولة أو المسروقة من العمل على الشبكة، وتتم هذه العملية قبل:

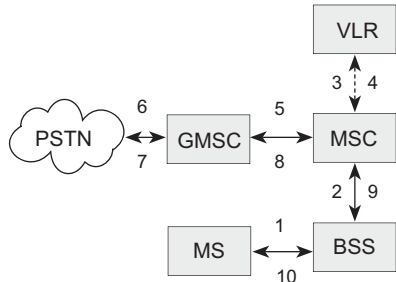
- عملية تحديث الموقع.
- إجراء مكالمة.
- استقبال مكالمة.
- إرسال البيانات والرسائل القصير.



شكل (٢٩): التشفير

التشفير: وهي عملية يتم فيها تأمين مسار المكالمات والبيانات ومنع اعتراضها واستقبالها بين الوحدة المتنقلة والمحطة الأساسية عبر تشفيرها، ويجب أن يستخدم كل من الوحدة المتنقلة ومحطة الاستقبال نفس رمز التشفير لضمان تشفير وفك التشفير بشكل صحيح.

المكالمات الصادرة



شكل (٣٠): سير المكالمات الصادرة

هي المكالمات الصادرة من الوحدة المتنقلة إلى وحدة متنقلة أخرى أو إلى هاتف الشبكة المحلية PSTN سواء للمكالمات أو لنقل البيانات والرسائل القصيرة:

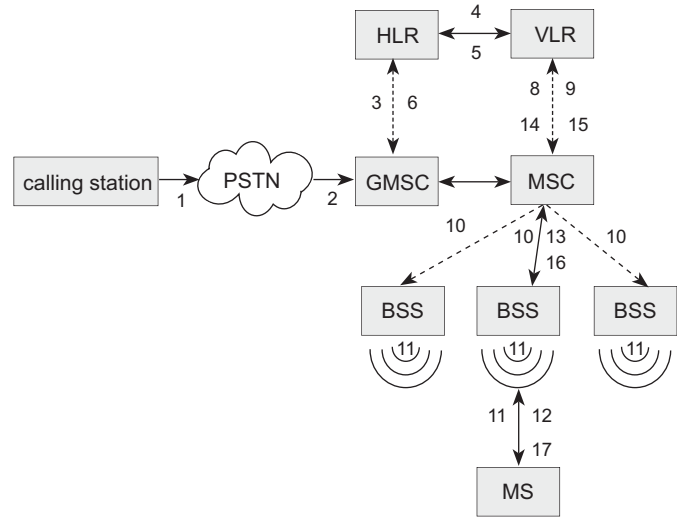
١. عند طلب رقم معين يتم ذلك باستخدام قناة الوصول العشوائي الفرعية في CCCH، ويتم إرسال طلب إجراء اتصال إلى محطة اتصال القيمة BTS، ومنها إلى نظام التحكم في محطات القاعدة BSC.
٢. يؤمن نظام التحكم بمحطات القاعدة BSC اتصالاً بين الوحدة المتنقلة والمقسم المركزي MSC وتبدأ عندها عملية التوثيق Authentication مع سجل الزوار VLR.
٣. بعد نجاح عملية التوثيق يبدأ عمل نظام التشفير بين الوحدة المتنقلة ومحطة اتصال القاعدة بناءً على معطيات عملية التوثيق.
٤. بعدها ترسل الوحدة المتنقلة باستخدام إحدى قنوات الترميز رقم الهاتف المطلوب إلى المقسم المركزي MSC عبر محطة القاعدة BTS ونظام التحكم بمحطات القاعدة BSC.
٥. يحدد المقسم موقع الوحدة المتنقلة المطلوبة بالرجوع إلى سجل موقع الزائر VLR.
٦. يقوم المقسم الرئيس MSC بحجز قناة اتصال مع الوحدة المتنقلة وتصله مع الوحدة المتنقلة الأخرى عبر نظام التحكم بمحطات القاعدة BSC، ومحطة اتصال القاعدة BTS.
٧. وإذا كان الرقم المطلوب هاتفاً ثابتاً فإن المقسم MSC يحول خط الاتصال عبر بوابة الرئيسة GMSC إلى شبكة الاتصالات العامة PSTN.

المكالمات الواردة

- وهي المكالمات التي تصل هاتفاً ثابتاً في شبكة الاتصالات العامة مع وحدة متنقلة في نظام GSM وتتم كما يأتي:
١. عند طلب رقم وحدة متنقلة من قبل هاتف ثابت في شبكة الاتصالات العامة فإن طلبه يحول إلى أقرب مقسم بوابة GMSC.
 ٢. يقوم مقسم GMSC باستشارة سجل الموقع الرئيس HLR لتحديد موقع الوحدة المتنقلة المطلوبة وتحديد موقع سجل الزائر VLR الذي حدث فيه آخر تحديث لموقع الوحدة المتنقلة المطلوبة.
 ٣. يقوم سجل موقع الزائر بفحص وضع الوحدة المتنقلة إذا كان مغلقاً أو مشغولاً.
 ٤. إذا كانت الوحدة المتنقلة غير مغلقة أو مشغولة فإن وحدة التحكم في محطات القاعدة BSC ستطلب من محطات القاعدة BTS في منطقة الوحدة المتنقلة إرسال إشارة PAGING، وتنتظر محطات القاعدة استجابة الوحدة المتنقلة.

٥ . بعد استجابة الوحدة المتنقلة تبدأ إجراءات عملية التوثيق والتشفير .

٦ . بعد نجاح عملية التوثيق والتشفير يتم تفعيل قناة اتصال بين هاتف الشبكة العامة والوحدة المتنقلة .



شكل (٣١): سير المكالمات الواردة

المناولة Handover

بسبب طبيعة النقل للمستخدم فإن على محطة اتصال القاعدة والوحدة المتنقلة الحفاظ على الاتصال بينهما، وهذا يتطلب تغير شدة إشعاع الوحدة المتنقلة لتناسب بعدها عن محطة القاعدة، وفي حال زيادة المسافة عن حد معين فإنه يتطلب تغيير الاتصال إلى محطة قاعدة أقرب، وهذه العملية تسمى المناولة Handover. وتتم كما يلي:



شكل (٣٢): المناولة

١ . تستقبل الوحدة المتنقلة إشارات من محطات القاعدة المجاورة

عبر قناة BCCH، وتقيس قوة وجودة هذه الإشارات .

٢ . ترسل الوحدة المتنقلة هذه القياسات إلى نظام التحكم في محطات القاعدة .

٣ . عندما تدعو الحاجة إلى تغيير محطة القاعدة الحالية فإن نظام التحكم في محطة القاعدة يطلب من المحطة الأقرب إلى الوحدة المتنقلة تجهيز قناة اتصال شاغرة .

٤ . يرسل نظام التحكم في محطات القاعدة BSC معلومات القناة الجديدة إلى الوحدة المتنقلة، ويطلب منها التحول إلى محطة القاعدة الجديدة واستخدام قناة الاتصال الشاغرة . لاحظ الشكل (32) .

تحدث هذه العملية بسرعة عالية، ولا يشعر المستخدم بأي انقطاع في الاتصال، وقد تتم عملية التسليم بين محطتي قاعدة ضمن نفس المنطقة التابعة لنظام تحكم في محطات قاعدة أو بين محطتي قاعدة تابعتين إلى نظامي تحكم في محطات القاعدة في منطقتين مختلفتين .

ميزة تمكن المشتركين من استخدام الوحدة المتنقلة ضمن شبكة اتصالات خلوية أخرى ، وقد تكون هذه الشبكة في نفس الدولة أو في دولة أخرى وعندها تسمى هذه الميزة تجوالاً دولياً (International Roaming) ، وهذه الميزة تمكن الشخص من البقاء على اتصال باستخدام رقمه الأصلي ولا يحتاج الشخص الطالب معرفة موقع الشخص المطلوب وكأنه مازال ضمن نفس الشبكة ، ولابد من اتفاق الشركات فيما بينها لاستخدام هذه الميزة .

نشاط (5):

ناقش مع مدربك كيف يكون التجوال ضمت نفس الدولة .

التقنيات الحديثة المستخدمة في أنظمة الهواتف الخليوية

تقنية GPRS

تعد تقنية GPRS تقنية التطور نحو الجيل الثالث G3 وأصبح هذا النظام جزءاً أساسياً من أنظمة GSM الحديثة . ويوفر سرعة نقل بيانات مقبولة .

التقنية المستخدمة :

- استخدام قنوات TDMA غير المستخدمة حيث يتم حجز أكثر من مسار ضمن القناة الواحدة تتراوح سرعة نقل البيانات بين 30Kbit/s و 80Kbit/s (باستخدام 4 مسارات) ويمكن زيادة سرعة نقل البيانات بزيادة عدد المسارات لتصل سرعة النقل ما بين 160Kbit/s و 236.8Kbit/s.
- تستخدم تقنية Packet switching حيث تمكن عدة مستخدمين من تقاسم قناة النقل الواحدة .

مميزات التقنية :

- سرعة نقل بيانات مقبولة مقارنة مع نظام GSM العادي .
- استخدامها في العديد من تطبيقات نقل المعلومات ، مثل الانترنت والوسائط المتعددة .
- غير مكلفة وملائمة للتطبيقات البسيطة (تصفح الإنترنت والبريد الإلكتروني) .

تقنية EDGE

تستخدم هذه التقنية لتحسين عمل تقنية GPRS ، وتسمى أحياناً EGPRS (Enhanced GPRS) ، وتشغل على إية شبكة GSM تعمل بنظام GPRS .

وتحسن هذه التقنية من عمل الخدمات التي تقدمها GPRS وذلك بتوفيرها لسرعة نقل بيانات عالية تصل

إلى 236.8Kbit/s، وهي تفي بأدنى متطلبات الجيل الثالث من الهواتف المتنقلة؛ لذا يتوجه أغلب المشغلين مباشرة نحو UMTS (الجيل الثالث).

التقنية المستخدمة: بالإضافة إلى تقنية GMSK تستخدم EDGE تقنية تضمين 8PSK، مما يوفر إضافة في عدد المسارات المستخدمة، ويزيد من سرعة نقل البيانات.



الجيل الثالث (UMTS -IMT2000)

بدأت أنظمة الجيل الثالث بالظهور منذ 2001 في اليابان وكوريا الجنوبية ومن ثم انتشرت في العديد من دول العالم وأصبحت المعيار الأساسي للشركات، وبتوفيره سرعة نقل بيانات عالية حتى 1920Kbit/s (حاليا 384Kbit/s) أصبح هذا النظام مفضلاً على الأنظمة السابقة، ويمكن إدخال تقنيات إضافية عليه لتصل سرعة نقل البيانات في المستقبل إلى 14.4Mbit/s (حالياً في اليابان).

شكل (٣٤): جهاز خلوي (الجيل الثالث)

التقنية المستخدمة: يعمل نظام UMTS ضمن النطاق الترددي 1900MHz في الإرسال والنطاق 2100MHz في الاستقبال، ويستخدم عرض نطاق 5MHz لكل من قناتي الإرسال والاستقبال، ويستخدم تقنية الوصول WCDMA الحديثة، ويتميز بما يأتي:

١. سهولة تطوير أنظمة GSM الحالية لتعمل بهذا النظام نظراً لوجود العديد من التجهيزات المشتركة بينهما.

٢. استخدام أمثل للنطاق الترددي لاعتماده على أنظمة WCDMA في تقنيات الوصول.

٣. سرعة نقل بيانات عالية.

٤. نقل الوسائط المتعددة بكفاءة جيدة (نقل الفيديو ومشاهدة حية للمتحدثين).

٥. الاتصال الدائم بالإنترنت.

٦. ميزة تجوال عالمي Global Roaming، إذ يمكن استخدام وحدات متنقلة بتقنية

UMTS /GSM Dual Mode لتعمل على شبكات GSM في حال عدم وجود

تغطية UMTS.

أنظمة الهواتف اللاسلكية

استخدمت الهواتف اللاسلكية بشكل كبير وانتشرت بسبب حرية الحركة للمستخدم أثناء اتصاله مع شبكة الاتصالات العامة PSTN عن طريق اتصال الوحدة المتنقلة بمحطة القاعدة اللاسلكية CBS والتي بدورها تتصل

سلكياً بشبكة الاتصالات العامة PSTN وقد تم اعتماد أنظمة ومعايير لأجهزة الهواتف اللاسلكية، منها:



شكل (٣٥): هاتف لا سلكي

الجيل الثاني من الهواتف اللاسلكية CT2

طور هذا النظام لكي يحل محل نظام CT1 التماثلي، والذي كان يعاني من رداءة الاتصال داخل المباني وتعرضه المستمر للتشويش والتداخل بالإضافة لسهولة تعرضه للتنصت؛ لذا طور النظام CT2 الرقمي الذي تجاوز الإشكالات السابقة، ويعمل في داخل المباني وخارجها وضمن النطاق الترددي من (864MHz إلى 868MHz) ويستخدم 40 قناة ثنائية الاتجاه (Duplex Channel).

ويستخدم طاقة إرسال تقارب 100mW ومسافة تصل إلى 50m داخل المبنى وإلى 200m خارج المبنى.

TDD: هو نظام تقسيم زمني ثنائي فيه يتم تقسيم الزمن بين الإرسال والاستقبال.

الهاتف اللاسلكي الرقمي المحسن DECT

وهو في الأصل نظام أوروبي للهواتف اللاسلكية، ويعمل بالتقنية الرقمية طور ليؤمن وصول متعدد للمستخدمين وعند استخدامه مع المقسم الخاص الفرعي PBX يحسن من أدائه بحيث يمكن الوصول إلى الهواتف الفرعية لا سلكياً، وبذلك يماثل عمله النظام الخليوي في تقسيمه لمناطق الاتصال إلى خلايا؛ لذا يعد امتداداً لنظام GSM داخل المباني.



شكل (٣٦): هاتف لا سلكي

ويعمل في نطاق تردد 1.9GHz ويستخدم تقنيات الصوت TDMA و FDMA وينقل البيانات بسرعة تصل إلى 32Kbit/s ويحتوي 120 قناة ثنائية الاتجاه، ويستخدم نظام التقسيم الزمني الثنائي TDD في تقسيم الزمن بين الإرسال والاستقبال، ويث بطاقة إشعاعية تصل إلى 10mW ومسافة تقرب

من 200m وباستخدام وحدات متنقلة ثنائية النمط (Dual mode) يمكن استخدام نظام DECT داخل المبنى ونظام GSM خارجه.

هواتف الأقمار الصناعية

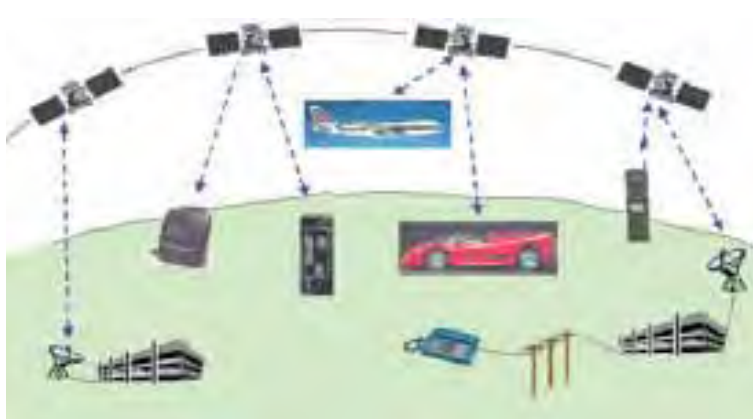
إن قدرة الأقمار الصناعية على تغطية مناطق واسعة من الكرة الأرضية وعدم تأثرها بالتضاريس الجغرافية جعلها الحل الأمثل لتقديم خدمة الاتصالات خاصة في المناطق النائية التي لا تتوفر فيها بنية تحتية للاتصالات بالإضافة إلى خدمات الإنترنت وتحديد الموقع GPS وتتلخص هذه التقنية بتوزيع مجموعة من الأقمار الصناعية في مدارات منخفضة الموقع تغطي كل منها منطقة جغرافية معينة، ويتم التواصل بين الأقمار والمحطات الأرضية لنقل الاتصال

إلى الشبكات الأرضية كما تتصل الأقمار فيما بينها لنقل الاتصال إلى مناطق جغرافية أخرى كما في الشكل (37)، ومن الأمثلة على هذه الأنظمة نظام أريديوم والثريا، فمثلاً يتكون نظام أريديوم من 66 قمراً صناعياً تغطي كامل مساحة الكرة الأرضية حيث يتمكن المستخدم عن طريق هاتفه التحدث مع أي شخص في أي مكان في العالم سواء أكان في اليابسة أو في البحار أو في الجو على متن الطائرات، والخصائص الفنية لنظام أريديوم، هي كما يأتي:

- 66 قمراً صناعياً بالإضافة إلى 6 أقمار احتياط.
- ارتفاع الأقمار عن سطح الأرض يبلغ 780Km.
- يستخدم المدى L-Band 1.6MHz بين الأجهزة المتنقلة والأقمار الصناعية.
- يستخدم المدى K-Band 23GHz بين الأقمار الصناعية بعضها عن بعض.
- يستخدم تقنيات TDMA و FDMA.
- سرعة نقل تصل إلى 9.6Kbit/s.



شكل (٣٨): هواتف أقمار صناعية



شكل (٣٧): نظام هواتف الأقمار الصناعية

بلوتوث Bluetooth



تعد من تقنيات الاتصال الحديثة التي انتشرت مؤخراً، وتستخدم بكثرة في مجال نقل المعلومات والاتصالات بين الأجهزة المختلفة والمتنقلة وصممت في البداية لتحل محل الكوابل في المدى القصير، ثم ما لبثت أن أصبحت بنية أساسية للشبكات الشخصية وبسرعة نقل تصل 742Kbit/s، وتعمل في المدى الترددي من 2.402GHz إلى 2.480GHz، وتتميز بما يأتي:

١. سهولة الاستخدام.



٢ . نظام عالمي موحد .

٣ . رخص ثمنها .

٤ . نقل الصوت والبيانات معا .

وتتوفر ثلاث فئات من البلوتوث بناءً على طاقة الإرسال ، هي :

المدى (متر)	القدرة (mW)	الصنف
100	100	صنف A
10	2.5	صنف B
1	1	صنف C

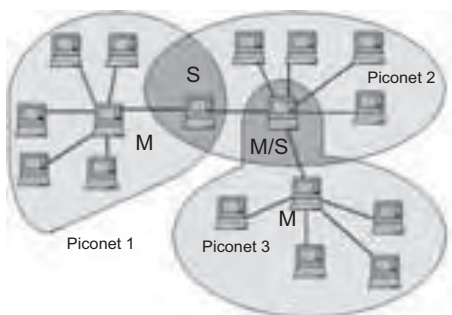
وطاقة البث المنخفضة هذه تقلل من التداخل بين الأجهزة التي تعمل ضمن نفس المدى ، ولا يتطلب خط رؤية بين طرفي الاتصال ويتم التحكم بمستوى طاقة الإرسال تلقائياً لتبقى ضمن أقل مستوى ممكن ؛ مما يجعله مناسباً للعمل داخل الغرف .

يمكن لتقنية البلوتوث أن تربط بين ثمانية أجهزة ضمن دائرة لا يزيد قطرها عن مدى الصنف المستخدم يعمل على تغيير ترددات الإرسال 1600 مرة في الثانية لـ 79 قناة ، وتسمى هذه العملية قفزات التردد Frequency hopping وترسل البيانات بطريقة تحويل الحزمة (Packet switch) .

يمكن للبلوتوث تكوين نوعين من شبكات الاتصال ، وهما :

١ . **Piconet** : حيث ترتبط الأجهزة بطريقة سيد/ تابع master /slave ويمكن ربط ثمانية أجهزة بعضها مع بعض ، ويعرف أحدها بأنه سيد master لينظم عمل السبعة الباقين والتي تعرف بأنها تابعة Slave ويمكن في أي وقت تبديل حالة أحدها من حالة إلى أخرى .

٢ . **Scatternet** : حيث يمكن توصيل شبكتين Piconet أو أكثر ترتبطان ببعضهما عبر جهازين ؛ مما يمكن من نقل المعلومات كما في الشكل (39) .



شكل (٣٩) : سكاتننت

ما يميز البلوتوث بأن الأجهزة المزودة بها تتعرف تلقائياً بعضها على بعض بمجرد وجودها ضمن مدى الإرسال ، ولا يتطلب إلا الموافقة على تبادل المعلومات من قبل المستخدمين ، ويحتوى نظام البلوتوث كأي نظام لاسلكي حديث على أنظمة تشفير مختلفة بالإضافة إلى أرقام سرية للحفاظ على السرية ومنع التطفل . وتستخدم تقنية البلوتوث في العديد من التطبيقات ، مثل نقل البيانات والصوت والهواتف اللاسلكية وتأمين الوصول إلى الشبكات المحلية .



شكل (٤٠) : شبكة لا سلكية (WiFi)

هي سلسلة من المنتجات اللاسلكية المتوافقة المعايير للاستخدام مع الشبكات المحلية اللاسلكية WLAN، وتمكن الأجهزة والحواسيب المحمولة والهواتف بتقنية VoIP للاتصال مع الإنترنت لاسلكياً. الشكل(40) يبني أحد الشبكات اللاسلكية.

تعتمد الواي فاي على معايير IEEE 802.11 ومن هذه المعايير :

المعيار	التردد	المدى	السرعة	الأجهزة	التوافق
802.11b	2.4GHZ	حتى 90m داخل المباني .	11Mbit/s	الحواسيب المحمولة والهواتف المتنقلة .	يتأثر بأجهزة الهاتف اللاسلكية التي تعمل بنفس التردد .
802.11g	2.4GHZ	45 m داخل المباني .	54Mbit/s	الحواسيب المحمولة .	يتأثر بأجهزة الهاتف اللاسلكية التي تعمل بنفس التردد .

كما ان هناك معايير حديثة تعمل ضمن تردد 10GHz وتعد بالوصول إلى عدة كيلومترات ، مثل IEEE 802.16 (WiMAX).

تستخدم تقنية الواي فاي بشكل تجاري لتقديم خدمة الانترنت لاسلكياً كما في المقاهي والمطارات والجامعات عبر ما يسمى نقاط وصول Access point، وتسمى منطقة التغطية (Hot spot) .

من ميزات تقنية الواي فاي :

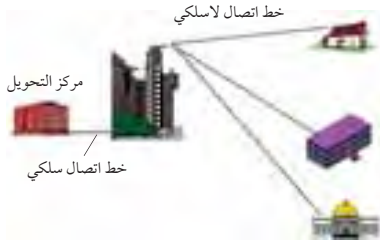
الواي ماكس (WiMAX): تقنية توفر الإتصال بالإنترنت لاسلكياً وهي تشبه الواي فاي في عملها إلا أن منطقة التغطية في هذه التقنية تكون أكبر بحيث تصل إلى 50Km.

- ١ . استخدامها لنطاق ترددي حر (لا يحتاج إلى ترخيص).
- ٢ . تقليل تكلفة بناء الشبكات المحلية LAN.
- ٣ . رخيصة الثمن ؛ مما جعلها متوفرة بشكل كبير في الأجهزة المحمولة .
- ٤ . توفيرها للحماية ضد التطفل .
- ٥ . معيار عالمي مما يعني إمكانية استخدام الأجهزة في معظم دول العالم .

الدائرة المحلية اللاسلكية (Wireless Local Loop)

نظام لربط المشتركين بشبكة الاتصالات العامة PSTN لاسلكياً بدل الكوابل النحاسية ، كما في الشكل (40) وتستخدم هذه التقنية في العديد من البلدان خاصة النامية منها ، وتتميز بالخصائص الآتية :

- ١ . عدم توفر بنية تحتية جاهزة .



شكل (٤٠): الدارة المحلية الاسلكية

٢. طلب مؤقت للخدمة الهاتفية .

٣. الكلفة المتدنية (مقارنة مع تمديد الكوابل النحاسية وصيانتها) .

٤. سرعة تركيب وتشغيل عالية .

٥. حرية التنقل ضمن منطقة التغطية .

يمكن أن يستخدم نمطان للاتصال ، هما :

١. نمط النطاق الضيق ويستخدم كبديل عن الهواتف الثابتة .

٢. نمط النطاق العريض لنقل الصوت والبيانات بسرعة عالية .

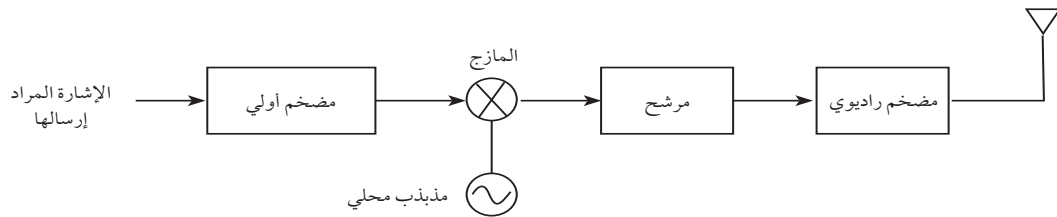
وتبنى هذه الأنظمة بالاعتماد على الأنظمة الخليوية والأقمار الصناعية وأنظمة لاسلكية خاصة .

انظمة الإرسال والاستقبال اللاسلكية

تقوم أجهزة الإرسال بتحويل البيانات إلى إشارات لاسلكية تبث عبر هوائيات الإرسال لتصبح موجات كهرومغناطيسية وتلتقط هذه الموجات من قبل هوائيات أجهزة الاستقبال لتتحول مرة أخرى إلى إشارات كهربائية ، ومن ثم إلى بيانات كما كانت سابقا .

أجهزة الإرسال

يتكون جهاز الإرسال من عدد من المراحل تؤدي كل مرحلة وظيفة محددة ، وتختلف أجهزة الإرسال تبعاً لنوع التضمين ونوع المعلومات والترددات والتشفير وغيرها ، لكنها جميعاً تحتوي على وحدات أساسية رئيسية يبين الشكل (41) جهاز تضمين اتساع ويتكون من الوحدات الآتية :



شكل (٤١): جهاز تضمين اتساع

■ مضخم أولي : يقوم بتضخيم إشارات المعلومات لتصبح في مستوى ملائم .

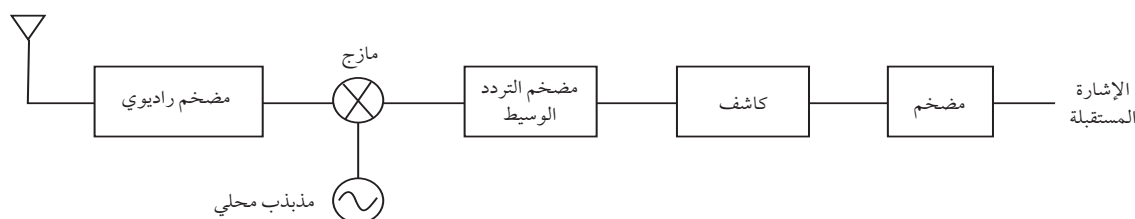
■ وحدة التضمين : تقوم برفع تردد إشارة المعلومات لتصبح ضمن النطاق الترددي المرغوب ، ويستخدم مذبذب محلي لتحديد التردد المطلوب .

■ وحدة المرشح : تمنع مرور الترددات الجانبية غير المرغوب فيها

- مضخم قدرة: يضخم الإشارة إلى مستويات تعتمد على مدى الإرسال المرغوب، وقد يتكون من عدد من المراحل.
- الهوائي: هو المرحلة الأخيرة التي عندها تتحول الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية.

جهاز الاستقبال

يحتوي جهاز الاستقبال على وحدات مشابهة لجهاز الإرسال إلا أنها تقوم بعملية عكسية، وهناك أنواع متعددة من أجهزة الاستقبال وأشهرها السوبر هيتروداين، ويتميز باتساع النطاق الترددي الذي يمكنه استقبال الإشارات فيه. الشكل (42) يبين المخطط الصندوقي لجهاز السوبر هيتروداين.



شكل (٤٢): جهاز السوبر هيتروداين

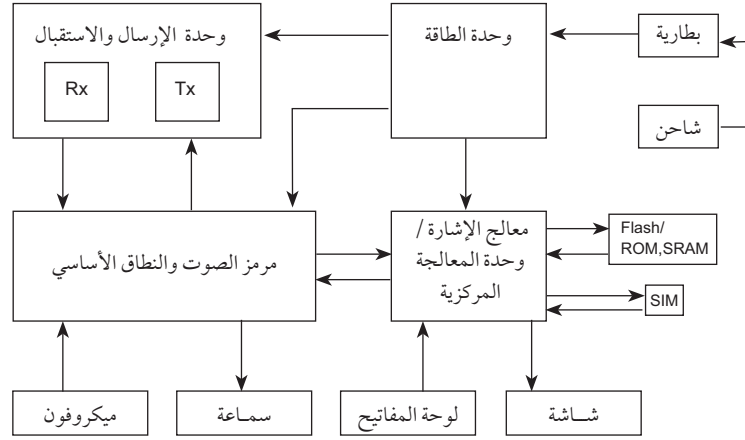
ومبدأ عمله يتلخص بتحويل تردد الإشارات الملتقطة من هوائي الاستقبال إلى تردد موحد (يسمى التردد الوسيط IF) من قبل وحدة المازج، وهذا التردد هو الفرق بين تردد المذبذب المحلي وتردد الإشارة المستقبلة، ولأن المذبذب المحلي متغير التردد فإن نطاق الاستقبال عريض.

تمر إشارة التردد الوسيط بمضخم لتبقى ضمن مستوى مقبول، ثم تمر عبر الكاشف الذي يستخلص إشارة المعلومات من الإشارة الحاملة لتضخم فيما بعد.

يستخدم السوبر هيتروداين في العديد من التطبيقات وخاصة الاستقبال الإذاعي التلفزيوني، ويستخدم في كشف إشارة تضمين الاتساع أو تضمين التردد.

الوحدة المتنقلة (ME)

تعدّ الوحدة المتنقلة من أكثر الأجهزة الإلكترونية تطوراً، ونظراً لزيادة الطلب عليها والانتشار الهائل لأنظمة الهواتف الخلوية حول العالم فقد تطورت هذه الأجهزة بشكل كبير، وفي فترة قصيرة نسبياً كما أن حجمها يتضاءل وخدماتها تزداد، ومع ذلك فإن جميعها تتشابه في الأقسام والوظائف الرئيسية، وهذه الوحدات هي رمز الصوت، ومعالج الكلام، ومعالج الإشارة، ومرمز النظام الأساسي، ووحدة الإرسال والاستقبال. كما في الشكل (43).



شكل (٤٣): الوحدات الأساسية للجهاز الخليوي .

- وحدة الطاقة : تقوم بتزويد أجزاء الهاتف الخليوي المختلفة بالطاقة الكهربائية .
- وحدة الشحن : تقوم بتنظيم عملية الشحن .
- وحدة الإرسال والاستقبال : وتحتوي على مرحلة التردد البيني IF والمزاج ومرشحات لكل من التردد البيني IF والتردد الراديوي RF ومضخمات استقبال أولية منخفضة الضجيج ومضخمات قدرة للإرسال .
- مرمز الصوت والنطاق الأساسي : تقوم بعمليات معالجة الصوت والتشفير ، كما تقوم بتحويل الإشارات الصادرة عن الميكروفون من تماثلية إلى رقمية والإشارات الصادرة عن وحدة معالجة الإشارة من رقمية إلى تماثلية .
- وحدة المعالجة المركزية : تقوم بالتحكم بالوحدات الأخرى ومهام التشفير .
- ذاكرة : تحتوي على برامج الجهاز وبيانات المستخدم .
- البطارية : قابلة للشحن وتزود الجهاز بالطاقة اللازمة .

س ١ : اجب عن الأسئلة الآتية :

- ١ . ماهي أبرز عيوب الأنظمة اللاسلكية التقليدية وحيدة الخلية؟ .
- ٢ . بماذا تميزت أنظمة الجيل الثاني عن الجيل الأول؟ وما هو أشهر أنظمة هذا الجيل؟ .
- ٣ . ماهي أبرز ميزات الجيل الثالث من الهواتف الخليوية؟ .
- ٤ . إلى ماذا يطمح مصمم الجيل الرابع؟ .
- ٥ . اذكر أبرز خصائص نظام GSM .
- ٦ . مم تتكون الوحدة المتنقلة؟ وكيف يتم تميز كل وحدة في الشبكة؟ .
- ٧ . اين يستخدم الرقم العالمي لهوية المشترك (IMSI)؟ وما الفائدة منه؟ .
- ٨ . متى يتم استخدام رقم فك الإغلاق الشخصي PUK؟ .
- ٩ . مم يتكون نظام فرعي محطات القاعدة (BSS)؟ وماهي وظائفها؟ .
- ١٠ . ماهي وظيفة كل من : MSC و HLR وAuc و VLR في الأنظمة الرئيسة لنظام فرعي تحويل الشبكة؟ .
- ١١ . عدد مهام نظام التشغيل والصيانة .
- ١٢ . ماهي أبرز الخدمات التي يقدمها نظام GSM؟ .
- ١٣ . ما الفرق بين التجوال الدولي International Roaming والتجوال العالمي Global Roaming؟ .
- ١٤ . في الوحدة المتنقلة يمكن استخدام سرعتين للنقل ماهما؟ وماهو عدد الوحدات المتنقلة للقناة الواحدة لكل سرعة نقل؟ .

- ١٥ . ما الذي ميز الجيل الثاني لنظام الهواتف اللاسلكية CT2 عن الجيل الأول CT1 .
 - ١٦ . وضح كيف يتشابه نظام DECT مع الأنظمة الخليوية ، وكيف يستخدم كامتدادا لها؟ .
 - ١٧ . أين يستخدم نظام الدارة المحلية اللاسلكية WLL؟ وبماذا يتميز؟ .
 - ١٨ . ماهي الوحدات التي تتكون منها الوحدة المتنقلة؟ وماهي وظيفة كل وحدة؟ .
- س ٢ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

- ١ . استخدمت تكنولوجيا GPRS لتطوير أنظمة DAMPS لزيادة سرعة نقل البيانات .
- ٢ . يتميز نظام GSM عن الأنظمة الأخرى باستخدام بطاقة هوية المشترك SIM .
- ٣ . يستخدم التوزيع الخليوي بحيث تستخدم الخلايا المتجاورة نفس الترددات .
- ٤ . العنقود (Cluster) هو مجموعة من الخلايا تتوزع عليها الترددات المختلفة .

- ٥ . يتناسب حجم الخلية عكسياً مع الطاقة الإشعاعية للوحدة المتنقلة .
- ٦ . عدد الخلايا في المناطق الريفية أكبر من عددها في المناطق المدنية .
- ٧ . يقوم نظام خدمات المشتركين والفوترة CCBS بتجهيز بطاقات المشتركين .
- ٨ . تستخدم قناة TCH للتحكم وقناة CCH لنقل البيانات .
- ٩ . يمكن عبر نظام أريديوم التحدث من زي مكان في العالم عبر شبكة ضخمة من الأبراج الخليوية .
- ١٠ . باستخدام تقنية بلوتوث يمكن ربط ثمانية أجهزة أو أكثر لتبادل البيانات .

س٣ : اختر الإجابة الصحيحة :

- ١ . التوثيق Authentication عملية تتم قبل :
 - أ . تحديث الموقع .
 - ب . اجراء مكالمة .
 - ج . استقبال مكالمة .
 - د . كل ما سبق .
- ٢ . يستخدم التشفير Cipherring بين كل من :
 - أ . BTS و BSC .
 - ب . ME و BTS .
 - ج . ME و SIM .
 - د . كل ما سبق .
- ٣ . يتم الرجوع لسجل EIR في حالة :
 - أ . التسجيل أو طلب إجراء مكالمة .
 - ب . التوثيق والتشفير .
 - ج . تحديث الموقع .
 - د . كل ما سبق .
- ٤ . نظام إعداد بطاقات هوية المشترك يقوم بـ :
 - أ . ادارة بيانات المشترك .
 - ب . تفعيل وتشغيل بطاقات المشترك
 - ج . ربط بيانات المشترك مع الوحدة المتنقلة .
 - د . ربط الرقم التسلسل للبطاقة مع معلومات المشتركين .
- ٥ . تحدث عملية التسليم بين الوحدة النقالة وأبراج الخلايا في الحالات الآتية :
 - أ . تشغيل الوحدة النقالة لأول مرة في الشبكة .
 - ب . ابتعاد الوحدة المتنقلة عن برج الخلية الحالي واقترابها من برج آخر .
 - ج . ضعف إشارة الخلية ، وخروج الوحدة المتنقلة عن نطاق الخلية .
 - د . كل ما ذكر .

- ٦ . يتميز نظام البلوتوث بـ:
- أ . سهولة الاستخدام .
 - ب . رخص الثمن .
 - ج . نظام عالمي موحد .
 - د . كل ما ذكر .
- ٧ . يمكن تكوين نوعين من الشبكات باستخدام البلوتوث ، هما .
- أ . بيكونت وسكاترنت .
 - ب . سيد وتابع .
 - ج . بيكو بوينت وسكاتر بوينت .
 - د . كل ما ذكر .
- ٨ . تستخدم تقنية واي فاي في :
- أ . الوحدات المتنقلة لنقل الصوت .
 - ب . أنظمة الأقمار الصناعية .
 - ج . شبكات الحاسوب .
 - د . لاشيء مما ذكر .